Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie
Mittleres und Unteres Langetetal

WEA

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Bearbeitung: Ingenieur- und Studienbüro
A. Werner AG, Burgdorf

Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie
Mittleres und Unteres Langetetal

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Bearbeitung: Ingenieur- und Studienbüro
A. Werner AG, Burgdorf

Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Bericht:
Hydrogeologie Mittleres und Unteres Langetetal

Ausgabe: 1991

Herausgeber:
Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Dr. R. V. Blau

Bearbeitung:
Ingenieur- und Studienbüro
A. Werner AG, Burgdorf

Druck, Einband:
Aerni-Leuch AG, Liebefeld/Bern

Dieser Bericht stellt einen Beitrag zur Entscheidungsfindung dar und nimmt keine Beschlüsse der zuständigen politischen Organe vorweg.

Die Reproduktion und Weiterverwendung von Textabschnitten, Graphiken, Kartenausschnitten usw. ist erlaubt, **wenn auf allen Wiedergaben klar auf den Bericht, das Erscheinungsjahr, den Herausgeber, die Leitung und Autoren hingewiesen wird.**

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
BEILAGENVERZEICHNIS	7
FIGURENVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	9
ZUSAMMENFASSUNG	11
1. EINLEITUNG	21
1.1 Ziel der Untersuchungen	21
1.2 Kredite, Subventionen	22
1.3 Untersuchungsgebiet und -zeitraum	23
1.4 Untersuchungsablauf	24
1.4.1 Allgemeines	24
1.4.2 Einbezug vorhandener Untersuchungen	25
1.4.3 Zeitlicher Ablauf	26
1.5 Bearbeiter	27
1.6 Dokumentation der Untersuchungsresultate	27
1.7 Bisherige Nutzniesser von Untersuchungsresultaten	28
2. HYDROGEOLOGIE	29
2.1 Sondierbohrungen	29
2.2 Grundwasserstauer	32
2.3 Deckschichten und Grundwasserleiter	33
2.4 Geologische Querprofile	36
2.5 Hydrologische Kennziffern	38
2.5.1 Durchlässigkeitsbeiwert (k-Wert)	38
2.5.2 Speicherkoeffizient	43
2.5.3 Durchflusswirksame Porosität	43

	Seite
3. HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE	44
3.1 Messstellennetz	44
3.1.1 Messstellen-Typen	44
3.1.2 Umfang und Aufbau	46
3.2 Ermittlung der Hydrologischen Grundlagendaten	48
3.2.1 Niederschlag	48
3.2.2 Verdunstung	55
3.3 Messungen an Oberflächengewässern	57
3.3.1 Wasserstand	57
3.3.2 Abflussmengen	58
3.3.3 Oberflächenwasserqualität	60
3.4 Messungen an Quellen	61
3.5 Messungen im Grundwasser	62
3.5.1 Grundwasserstand	62
3.5.2 Entnahmemengen	65
3.5.3 Bakteriologische und physikalisch-chemische Untersuchungen	65
3.6 Beziehung zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser	67
3.6.1 In- und Exfiltration der Langete	67
3.6.2 Exfiltration Rot	69
3.6.3 Beziehung zwischen den Seitenbächen und dem Grundwasser	69
3.6.4 Grundwasserexfiltrationsgebiete	71
4. ERMITTLUNG DER GRUNDWASSERZU- UND -WEGFLÜSSE	74
4.1 Grundwasserzuflüsse	75
4.1.1 Zufluss durch das Bilanzierungsprofil Kleindietwil	75
4.1.2 Direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag	75
4.1.3 Indirekte Grundwasserneubildung aus Niederschlag	77
4.1.4 Infiltration aus Oberflächengewässern	79
4.1.5 Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung	83
4.1.6 Grundwasserneubildung aus Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald	94
4.2 Grundwasserwegflüsse	98
4.2.1 Unterirdische Grundwasserwegflüsse	98
4.2.2 Grundwasserexfiltration	98
4.2.3 Grundwasserentnahmen	101
4.3 Speicheränderung	102

Seite

5. GRUNDWASSERMODELL LANGETENTAL 104

5.1 Aufbau und Betrieb des Grundwassermodells 104

5.2 Eichung des Grundwassermodells 107
5.2.1 Stationäre Modelleichung 108
5.2.2 Instationäre Modelleichung 111

6. BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERVORKOMMENS 116

6.1 Grundwasserverhältnisse am 14. Oktober 1986 116
6.1.1 Isohypsen des Grundwasserspiegels 116
6.1.2 Grundwassermächtigkeit 119
6.1.3 Flurabstand 120
6.1.4 Stationäre Grundwasserbilanz 122

6.2 Grundwasserverhältnisse 1984 bis 1986 124
6.2.1 Grundwasserspiegelbewegungen 125
6.2.2 Grundwassermächtigkeit, Flurabstand und Spiegelgefälle 132
6.2.3 Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 133
6.2.4 Wasserbilanz 141

6.3 Nutzbares Grundwasserdargebot 144
6.3.1 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Kleindietwil und Lotzwil 144
6.3.2 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Lotzwil und Langenthal 144
6.3.3 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Bützberg/Langenthal und Kaltenherberg 145
6.3.4 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Kaltenherberg und Roggwil 146
6.3.5 Zusammenstellung des nutzbaren Grundwasserdargebotes 147

6.4 Grundwasserqualität 148
6.4.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften 148
6.4.2 Bakteriologische Eigenschaften 153
6.4.3 Schadstoffbelastung des Grundwassers 154

7. MENGEN- UND GÜTEMÄSSIGE VERÄNDERUNGEN DES GRUNDWASSERVORKOMMENS 155

7.1 Quantitative Veränderungen 155
7.1.1 Rückgang des Grundwasserspiegels 155
7.1.2 Rückgang der Grundwasserexfiltration 157
7.1.3 Ursachen der Rückgänge 160

7.2 Qualitative Veränderungen 161
7.2.1 Zunahme der Nitratgehalte 163
7.2.2 Ursachen der Nitratzunahme 164

Seite

8. NUTZUNGS- UND SCHUTZKONZEPT 165

8.1 Bewirtschaftungszenarien 165
8.1.1 Allgemeine Vorgaben 165
8.1.2 Natürliche Grundwasserneubildung ohne die effektiven Wiesenwässerungen, ohne Hochwasserversickerung im Hardwald 166
8.1.3 Reaktivierung der Wiesenwässerung 168
8.1.4 Auswirkungen der intensiven Wiesenwässerung 171
8.1.5 Verminderung der Langete-Infiltration 172
8.1.6 Steigerung der Grundwasserentnahme im Raum Hardwald 173
8.1.7 Künstliche Grundwasseranreicherung im Hardwald 175
8.1.8 Zusammenstellung und Wertung der Szenarien 175

8.2 Nutzungskonzept 177
8.2.1 Raum Bützberg-Langenthal (Hardwald)-Kaltenherberg 177
8.2.2 Raum Kaltenherberg-Roggwil 178
8.2.3 Raum Kleindietwil-Lotzwil 179

8.3 Schutzkonzept 179
8.3.1 Heutiges Schutzzonen-Konzept 179
8.3.2 Ursachenbekämpfung Nitrat, Atrazin/Simazin 180
8.3.3 Altlasten 180
8.3.4 Raum Bützberg-Langenthal (Hardwald)-Kaltenherberg 181
8.3.5 Raum Kaltenherberg-Roggwil 181
8.3.6 Raum Kleindietwil-Lotzwil 181

LITERATURVERZEICHNIS 182

BEILAGENVERZEICHNIS

1 Hydrographie 1 : 25 000

2 Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 14.10.1986 und des Grundwasserstauers 1 : 25 000

3 Mächtigkeit der Grundwasserleiter 1 : 25 000

FIGURENVERZEICHNIS

1.1 Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen

2.1 Anzahl Sondierbohrungen
2.2 Schematischer Schnitt durch ein Lockergesteins-Grundwasservorkommen
2.3 Profil- und Bereichs-k-Werte der Aufschlussbohrung AAB21
2.4 Situationsplan mit den Profil-k-Werten
2.5 Häufigkeitsverteilung der Profil-k-Werte (unten) und Bereichs-k-Werte (oben)

3.1 Anzahl Grund- und Oberflächenwasser-Messstellen
3.2 Anzahl Schreibpegel
3.3 Monatliche Niederschlagssummen 1984 bis 1986 der SMA-Station Madiswil
3.4 Gleitende Mittel über fünf Jahre der Jahresniederschlagssummen der SMA-Station St. Urban für die Messperiode 1901 bis 1988
3.5 Häufigkeitsverteilung der gemessenen Jahresniederschlagssummen zwischen 1901 und 1988 der SMA-Station St. Urban für Schrittlängen von 100 mm
3.6 Aktuelle Gebietsverdunstung 1984 bis 1986, berechnet mit den Daten der Klimastation Wynau und Huttwil
3.7 Messperioden der Oberflächenwasser-Schreibpegel
3.8 Pegel-Abflussbeziehung 1987 mit den Resultaten der Eichmessungen 1987 und 1988 der WEA-Messstation Langete-Kaltenherberg, LANQ6
3.9 Messperiode der Grundwasser-Schreibpegel
3.10 Exfiltrationsgebiet Brunnmatt mit Messstellennetz und Quellbächen
3.11 Exfiltrationsgebiet Mange (aus [1])

4.1 Schematischer Bilanzierungskörper mit Grundwasserzu- und -wegflüssen im Grundwasserstrom des Langetentals
4.2 Berechnete und gemessene Quellschüttungen der Hauptquelle von Wyssbach, Madiswil
4.3 Messschema für Differenzmessungen zwischen LANQ4 und LANQ6 (Langete)
4.4 Wässerungsgebiet Mattehof, Lotzwil
4.5 Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil
4.6 Wässerungsgebiet Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal
4.7 Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil
4.8 Wiesenwässerung vom 27.04. bis 01.05.1984 im Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil. Zu- und wegfliessende Wassermengen, berieselte Fläche, Ganglinie des Grundwasserspiegels in Messstation LOB05

4.9 Wiesenwässerung vom 27.04. bis 01.05.1985 im Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil. Maximaler Grundwasserspiegel-Anstieg in m

4.10 Wiesenwässerung vom 14. bis 20. April 1984 im Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil. Zu-, abfliessende und versickerte Wassermengen (Tagesmittel), Ganglinien des Grundwasserspiegels in Messstation ROB04

4.11 Wiesenwässerung vom 14. bis 20. April 1984 im Wässerungsgebiet Gruenholz Roggwil. Auswirkungen auf die umliegenden Exfiltrationsgebiete: Simulierte Exfiltrationsmengen

4.12 Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald vom 10./11. Februar 1987: Abflussmenge im Entlastungskanal, Ganglinie des Grundwasserspiegels der Messstation LTB05

5.1 Grundwassermodell Langetental: Netzeinteilung

5.2 Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen

5.3 Grundwassermodell Langetental: Durchlässigkeitsverteilung aufgrund der Element-k-Werte

5.4a Gemessene und berechnete Ganglinien bei 4 Grundwassermessstationen

5.4b Gemessene und berechnete Ganglinien bei 3 Grundwassermessstationen

5.4c Gemessene und berechnete Ganglinien bei 3 Grundwassermessstationen

6.1 Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 14.10.1986 und des Grundwasserstauers im Gebiet von Langenthal, Situation 1:10 000

6.2 Ganglinien des Grundwasserstandes der Messstation AAB10 im Trockenjahr 1985 und Nassjahr 1986 (Tagesmittelwerte)

6.3 Teilgebiete mit ähnlich grossen Schwankungsbereichen während der Jahre 1984 bis 1986

6.4 Charakteristische Ganglinien des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für den Schwankungsbereich kleiner ca. 1 m und 1986

6.5 Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für den Schwankungsbereich von ca. 2 bis 3 m und 1986

6.6 Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für den Schwankungsbereich von ca. 1 bis 2 m und 1986

6.7 Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für das Wässerungsgebiet Mattehof, Lotzwil im Jahr 1986

6.8 Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für das Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil im Jahr 1986

6.9 Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) im Langete-Hochwasserversickerungsgebiet Hardwald im Jahr 1986

6.10a Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Monatsmittelwerte der einzelnen Grundwasserzu- und -wegflüsse im Untersuchungsgebiet

6.10b Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Monatsmittelwerte der aufsummierten Grundwasserzu- und -wegflüsse und der Speicheränderung im Untersuchungsgebiet

6.11 Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse

6.12 Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Monatsmittelwerte der Grundwasserflüsse in den vier Bilanzierungsprofilen Kleindietwil, Lotzwil, Langenthal und Kaltenherberg

6.13 Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse in l/s mit Berücksichtigung der Speicherung von ca. 10 l/s, dargestellt als Bilanzierungsschlange

6.14 Wasserbilanz: Verknüpfung der Mittelwerte 1984 bis 1986 der Grundwasserbilanz, Oberflächenwasserbilanz und Hydrologischen Bilanz zwischen den Profilen Kleindietwil und Roggwil (Einzellenmodell), Flüsse in [l/s]
6.15 Wasserbilanz: Verknüpfung der Mittelwerte 1984 bis 1986 der Grundwasserbilanz, Oberflächenwasserbilanz und Hydrologische Bilanz für die 4 Teilgebiete zwischen den 5 Bilanzierungsprofilen, Flüsse in l/s
6.16 Permanentes Chemiemessstellennetz Langenthal (ab 1987)

7.1 Jahresmittel der Grundwasserstände der Messstelle LTLF1 im Hardwald, Jahressummen der Niederschläge der SMA-Station St. Urban sowie gleitende Mittel über 5 Jahre. Messperiode 1947 bis 1989
7.2 Jahresmittel der Grundwasserstände der Messstelle LTLF1 im Hardwald, Jahresmittel der Exfiltrationsmengen in der Brunnmatt oberhalb der Abflussmessstationen sowie gleitende Mittel über 5 Jahre, Periode 1947 bis 1989
7.3 Jahresmittel und gleitende Mittel über 5 Jahre der Schüttungsmengen der Trink- und Brauchwasserfassungen Neue Mange und Madiswil
7.4 Langfristige Entwicklung der Nitratgehalte mit Regressionsgeraden

8.1 Einfluss von Wiesenwässerungen und der Hochwasserversickerung auf die Grundwassermächtigkeit im Hardwald. Vergleich des Istzustandes (schraffiert) mit den Ergebnissen der Modellsimulation
8.2 Angenommene Wässerungszeiten für die Modellsimulationen 2 bis 5
8.3 Abflussmenge der Langete bei der eidgenössischen Messstation LANQ4 (626.226/Q4) in Lotzwil und Summe der Wässerungsmengen der vier potentiellen Wässerungsgebiete
8.4 Einfluss auf die Grundwassermächtigkeit im Hardwald, Vergleich des Istzustand (schraffiert) mit den Modellsimulationen 1, 6 bis 8
8.5 Monatsmittel der Grundwasserentnahmen 1984 aus den Fassungsanlagen des WUL in Bützberg, Langenthal, Aarwangen und Wynau sowie angenommene, auf 150 l/s gesteigerte Grundwasserentnahme für die Modellsimulation 7

TABELLENVERZEICHNIS

1.1 Hydrologische Grundlagedaten und Kennziffern

2.1 Daten der WEA-Bohrungen
2.2 Zusammenstellung der wichtigsten Resultate aus den Kleinpumpversuchen und Flowmetermessungen

3.1 Gemessene Jahresniederschlagssummen 1984 bis 1986
3.2 Gebietsniederschlag sowie nach SEVRUK korrigierter Niederschlag der SMA-Station Madiswil 1984 bis 1986
3.3 Minimale, maximale und mittlere gemessene jährliche Niederschlagssummen 1901 bis 1988, 1984 bis 1986 und Unterschreitungen bei 88 Ereignissen für die SMA-Station St. Urban
3.4 Minimale, maximale und mittlere Halbjahres-Niederschlagssummen 1901 bis 1988, 1984 bis 1986 und Unterschreitungen bei je 88 Ereignissen für die SMA-Station St. Urban
3.5 Aktuelle Jahresverdunstung 1984 bis 1986

3.6 Aktuelle Gebietsverdunstung und gemittelte Verdunstungshöhen für die SMA-Klimastationen Wynau und Huttwil 1984 bis 1986
3.7 Mittlere, minimale und maximale gemessene Abflussmengen der Langete bei den Messstationen Lotzwil und Kaltenherberg 1984 bis 1986
3.8 Umfang der Simultanmessungen
3.9 Mittelwerte, Minima und Maxima der Grundwasserstände 1984 bis 1986 sowie Grundwasserstand vom 14.10.86
3.10 Grundwasser- und vom Grundwasser gespeiste Quellfassungen der öffentlichen Wasserversorgungen
3.11 Bakteriologische und physikalisch-chemische Parameter der Standarduntersuchung des Kantonschemikers

4.1 Infiltrationsmengen aus Differenzmessungen
4.2 Wiesenwässerung 1984 bis 1986
4.3 Langete-Hochwasserentlastungen in den Hardwald: Ereignisse seit 1976 mit den geschätzten in den Hardwald abgeleiteten Wassermengen gemäss den Angaben des Bauamts Langenthal
4.4 Exfiltrationsgebiet Brunnmatt: Jahresmittelwerte 1984 bis 1986 der Abfluss- und Exfiltrationsmengen der drei Quellbäche oberhalb der Messstationen
4.5 Schüttungsmengen der gefassten Grundwasseraustritte Mange und Kiltberg: Jahresmittelwerte 1984 bis 1986
4.6 Grundwasserentnahmen in den öffentlichen Trink- und Brauchwasserfassungen (vgl. Tab. 3.10): Jahresmittelwerte 1984 bis 1986
4.7 Mittlere Jahresdifferenzen der Grundwasserspiegel und Speicheränderungen der Jahre 1984 bis 1986

5.1 Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Exfiltrationsmengen vom 14.Oktober 1986
5.2 Gemessene und berechnete Jahresmittelwerte 1984 bis 1986 der Exfiltrationsmengen

6.1 Grundwasserbilanz vom 14. Oktober 1986 für das ganze Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil
6.2 Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse
6.3 Nutzbares Grundwasserdargebot, durchschnittlich genutzte sowie konzessionierte Grundwassermengen in l/s
6.4 Physikalisch-chemische Untersuchung vom 2. bis 10. Juli 1986: Nitrat-, Chlorid-, Sulfatgehalte, Gesamthärte (* ab 1987 ebenfalls ins permanente Messstellennetz für die Güteüberwachung aufgenommen)
6.5 Gesamthärte in [mmol/l] und [°fr] mit den dazugehörigen Bezeichnungen

7.1 Fassungen Madiswil (MALQ1/2): Mittlerer Anstieg der Nitratgehalte zwischen 1960 und 1989

8.1 Potentielle Wässerungsgebiete und -flächen nach [20]. Wässerungsmengen und Versickerungsleistungen gemäss Modellsimulation 2 bis 5
8.2 Mittlere Veränderungen gegenüber Modellsimulation 1 der Grundwasserzuflüsse, der Grundwassermächtigkeit im Hardwald und der Exfiltrationsmengen für die Modellsimulation 2 bis 8

ZUSAMMENFASSUNG

Ziele

Im Rahmen der systematischen Erforschung der für die Wasserversorgung wichtigen Grundwasservorkommen des Kantons Bern drängte es sich auf, die in einer ersten Untersuchung über die Hydrogeologie des mittleren und unteren Langetentales gewonnenen Erkenntnisse (Publiziert 1981) rasch zu vertiefen.

1985 stimmte der Grosse Rat einem Untersuchungsprogramm zu, das in erster Linie folgende wichtige Fragen beantworten sollte:

- Wie muss das Langete-Grundwasservorkommen geschützt und genutzt werden, damit die regionale Trink- und Brauchwasserversorgung langfristig sichergestellt bleibt?

- Welcher Anteil des Grundwassers wird lokal und regional gebildet durch das in Wässermatten versickernde Langetewasser? Kann das Grundwasserdargebot mit intensiverem Wässern gesteigert werden?

- Wie beeinflussen die entdeckten Grundwasserverschmutzungen mit Lösemitteln (leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe) und Nitrate die Nutzung?

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungen zeigten, dass die Grundwasserspeisungsanteile bisher falsch eingeschätzt worden sind. Die Langeteinfiltration ist bedeutend wichtiger als bisher angenommen. Damit ist eine weitere Frage wichtig geworden:

- Werden, wenn die Langetehochwasser durch den 1992 einsatzbereiten Entlastungsstollen zur Aare abgeleitet werden, die Grundwasserneubildung und damit das Dargebot zurückgehen?

Grundwasservorkommen

Das Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil erstreckt sich über eine Fläche von knapp 20 km^2. Seine randlichen Einzugsgebiete umfassen ca. 35 km^2. Der Gebietsniederschlag betrug im Mittel der Jahre 1984/1986 ca. 1290 mm, die Gebietsverdunstung ca. 600 mm.

Die Langete als wichtigstes Oberflächengewässer weist eine Länge von ca. 16 km auf. Sie speist auf einzelnen Strecken das Grundwasservorkommen (Infiltration) auf anderen drainiert sie es (Exfiltration). Charakteristisch für das Gebiet sind die zahlreichen aus dem Mittelalter stammenden Wässermatten mit ihrem verzweigten Grabensystemen, die im allgemeinen das Grundwasser leider nur lokal und kurzfristig anzureichern vermögen, sowie die Grundwasseraustrittsgebiete in der Brunnmatt und am Fusse der Roggwiler-Terrasse mit den teilweise reizvollen Quellbächen.

Der Grundwasserleiter wird gebildet durch würmeiszeitliche Schotter, bestehend vor allem aus sandigen z.T. siltigen Kiesen.

Zwischen Kleindietwil und Lotzwil liegt die Oberfläche des Grundwasserstauers (mehrheitlich Molassefels) grösstenteils weniger als 10 m unter Terrain. Die Grundwassermächtigkeit ist kleiner als 5 m. Das Grundwasser strömt im Mittel mit einem Gefälle von ca. 1 % und einer Fliessgeschwindigkeit von 5 bis 20 m/d talabwärts. Zwischen Langete und Grundwasser besteht eine enge Wechselbeziehung, wobei die Exfiltrationen überwiegen.

Unterhalb Lotzwil bleiben die Stauer- und Mächtigkeitsverhältnisse vorerst ähnlich. Bei Langenthal mündet das Bleienbachtal, eine eiszeitlich gebildete, 300 m breite, bis 35 m tiefe Rinne, gefüllt mit Moräne und mit Schottern. Sie prägt die Staueroberflächen im westlichen Talteil. Im östlichen zieht sich die hochanstehende Felsoberfläche vorerst weiter, fällt dann ungefähr auf der Linie Bahnhof/ARA Langenthal steil ins Langenthalerbecken ab. Ein Teil des von Lotzwil kommenden Grundwassers fliesst mit einem Gefälle bis zu 10 % über die Steilstufe in die Bleienbachrinne, der andere auf dem höheren Niveau direkt ins Langenthalerbecken. In diesem grundwasserhydraulisch gesehen sehr uneinheitlichen Gebiet treten unterschiedliche Fliessgeschwindigkeiten zwischen 5 und 100 m/d auf. Die Grundwassermächtigkeiten in der Bleienbachrinne betragen teilweise über 15 m, im höher gelegenen Teil nur wenige Meter. Die Langete infiltriert grösstenteils perkolativ, das heisst über einen teilgesättigten Bereich, abgesehen von einem kleineren Abschnitt unterhalb der Einmündung des Kleinbächleins mit Ex- und direkter Infiltration.

Langenthalerbecken wird der Grundwasserleiter zwischen Bützberg und Roggwil genannt. Von Bützberg bis und mit Oberhard besteht der Grundwasserstauer mehrheitlich aus über der Molasse liegenden Stillwasserablagerungen, am Westrand bei Bützberg auch aus einer Grundmoräne. Im übrigen dominiert Molassefels als Stauer, untergeordnet treten jedoch auch Grundmoräne und Stillwasserablagerungen auf. Die Staueroberfläche weist von Bützberg Richtung Roggwil ein geringes Gefälle von ca. 3 $^{0}/_{oo}$ auf. Im Nordwesten von Roggwil fällt sie in einer steilen Gefällsstufe (bis zu 10 %) nach Mange, Roggwil, ab. Im Bereich von Bützberg, im Hardwald, in der Roggwiler-Terrasse ab Kaltenherberg bis Roggwil, liegt der Stauer meistens ca. 20 m, in der Brunnmatt und der erwähnten Gefällsstufe bei Roggwil lediglich 1 bis 3 m unter Terrain.

Das Grundwasser fliesst vom westlichen Rand bei Bützberg gegen den Hardwald, vereinigt sich mit dem aus dem Mittleren Langetental und strömt mit zunehmendem Gefälle gegen Roggwil. Im Raum Bützberg, mit einem Gefälle von nur ca. 0.06 %, betragen die mittleren Fliessgeschwindigkeiten wenige Meter im Tag. Im Raum Hardwald (Gefälle ca. 0.2 %) treten Fliessgeschwindigkeiten von ca. 10 bis 30 m/d auf; im Raum Kaltenherberg sind sie bei einem Gefälle von ca. 0.7 % ähnlich.

Im Quellgebiet Brunnmatt tritt ungefähr die Hälfte des Grundwasserstroms aus. Die andere strömt in der Roggwiler-Terrasse mit einem mittleren Gefälle von ca. 0.6 % und einer Fliessgeschwindigkeit von etwa 20 m/d weiter Richtung Roggwil, wo sie praktisch vollständig im Bereich des Langete-Absturzes in die Langete oder im Quellgebiet Mange austritt.

Im Langenthalerbecken variiert die Grundwassermächtigkeit in einem grossen Teil zwischen ca. 5 und 10 m. Von Bützberg nimmt sie Richtung Hardwald generell von 5 auf 10 m zu und anschliessend bis Kaltenherberg auf ca. 5 m ab. Die grössten ausgewiesenen Mächtigkeiten betragen ca. 12 m im Raum Hardwald und im Bereich der Schulanlagen im Hard. In der Roggwiler-Terrasse ist die Grundwasser-

mächtigkeit mit dem ausgewiesenen Maximum im südlichen Bereich des Grossfeldes von 5.7 m grösstenteils kleiner als 5 m. Gegen die Quellgebiete Brunnmatt und Mange nimmt sie stetig ab, liegt dort grösstenteils unter 2.5 m.

Zwischen Langenthal und Roggwil liegt die Langete bis 15 m über dem Grundwasser und infiltriert perkolativ. Zwischen Roggwil und Mange fliesst sie grösstenteils in einem in den Terrassenrand erodierten steilen Bett. Bis zur Einmündung des Brunnbachs, Mange, tritt massiv Grundwasser aus der Roggwiler-Terrasse in die Langete, unterhalb bis zur Einmündung in die Rot in bescheidenem Ausmass aus dem angrenzenden Grundwasserleiter.

Grundwasserhaushalt

Die instationäre Grundwasserbilanz zeigt im Mittel der Jahre 1984 bis 1986 generell folgendes Bild: Im Grundwasserleiter fliessen bei Kleindietwil ca. 35 l/s, bei Lotzwil ca. 70 l/s, bei Langenthal ca. 300 l/s, bei Kaltenherberg ca. 610 l/s.

Die Grundwasserzuflüsse betragen ca. 1000 l/s, die -wegflüsse sind, langfristig gesehen, gleich gross. Das Grundwasservorkommen wird zu ca. 70 % von versickertem Niederschlagswasser (direkte und indirekte Grundwasserneubildung) und zu ca. 20 % durch infiltrierendes Langetewasser gespeist. Die restlichen 10 % setzen sich zusammen aus dem Grundwasserzufluss bei Kleindietwil und aus Wasser, das in den Wässermatten sowie im Hochwasser-Sammelbecken Hardwald versickert .

Der Grossteil des Grundwassers, ca. 83 %, exfiltriert in den Quellgebieten Brunnmatt und Mange sowie in die Langete. Ungefähr 16 % werden für die Trink- und Brauchwasserversorgung genutzt, ca. 1 % verlassen den Grundwasserleiter unterirdisch oder treten in die Rot aus.

Die konzessionierte Grundwassermenge beträgt knapp 500 l/s, entnommen wurden zwischen 1984 und 1986 im Durchschnitt ca. 160 l/s. Das nutzbare Grundwasserdargebot beträgt ca. 270 l/s, wovon ca. 200 l/s im Langenthalerbecken verfügbar sind.

Wie langjährige Messreihen zeigen, ist das noch nutzbare Grundwasserdargebot seit Mitte der 40er Jahre zurückgegangen. Der Grundwasserspiegel im Hardwald (Pumpwerk Hard I, WUL) sank um 2 m, die Quellergüsse in Madiswil, in der Mange und im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt gingen um 30 bis 40 % zurück. Verantwortlich dafür sind vor allem die höheren Grundwasserentnahmen (Mehrbezug im Langenthalerbecken ca. 60 l/s gegenüber 1950), die steigende Bodenversiegelung durch Ueberbauungen, der Rückgang der Wässermattenflächen und das weniger intensive Wässern in den wenigen Gebieten, wo das Wässern das Grundwasser anzureichern vermag.

Grundwasserqualität

Wie die verschiedenen Untersuchungen chemischer Standardparameter der letzten Jahre zeigen (periodische Trinkwasserkontrolle des kantonalen Laboratoriums, Analysen im Rahmen der hydrogeologischen Abklärungen sowie des Menge- und Güteüberwachungsprogrammes von Hochwasserschutzverband, Gemeindeverband

Wasserversorgung an der unteren Langete WUL und WEA), entsprechen die Werte im allgemeinen den Qualitätszielen für Trinkwasser. Die Nitratbelastung hingegen ist besorgniserregend. Die Werte schwanken zeitlich und räumlich stark. Es kann aber festgehalten werden: Ueber 50 % der Proben weisen Gehalte auf, die über dem Qualitätsziel für Trinkwasser (25 mg/l) liegen, einige überschreiten sogar den Toleranzwert (40 mg/l). Leider weist auch die Langete heute Werte auf, die zwischen 25 und 30 mg/l liegen. Ihr Wasser, das infiltriert oder in Wässermatten versickert, kann daher die Grundwasserqualität im allgemeinen nicht verbessern.

Wie Reggressionsanalysen langer Messreihen beweisen, sind die Nitrat-Gehalte in den letzten Jahren angestiegen. Mitverursachend ist zweifellos die Zunahme offener Ackerflächen (z.B. Umbruch von Wässermatten) und der vermehrte Maisanbau. Die Entwicklung ist sorgfältig zu verfolgen. Die eingeleitete Nitrat-Ursachenbekämpfung verspricht die Lage zu verbessern. Erfolge werden sich aber nicht rasch einstellen.

Eine Reihe von Altlasten mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen verschmutzen kleinere und grössere Bereiche des Grundwasservorkommens. Die massivste Verunreinigung im Raum Bützberg-Hardwald wird gegenwärtig saniert, über die Untersuchungen und die Sanierungsfortschritte ist in einem anderen Rahmen berichtet worden. An mehreren Stellen werden auch die Toleranzwerte für Trinkwasser der Pestizid-Wirkstoffe Atrazin und Simazin überschritten. Die mittlerweile vom Bund verfügten Einschränkungen und Verbote werden mittelfristig zweifellos die Grundwassergüte verbessern.

Nutzungs- und Schutzkonzept

Mit dem numerischen Strömungsmodell Langetental sind 8 Bewirtschaftungszenarien untersucht worden. Die Ergebnisse sind massgebend für den für die Nutzung des Vorkommens wichtigsten Abschnitt des Grundwasserleiters unter dem Hardwald nordwestlich von Langenthal.

- Das Ausbleiben der Langete-Hochwasserversickerung wird das Grundwasserdargebot nur unwesentlich verkleinern.

- Auch gegenüber heute wesentlich intensivere Wiesenwässerungen auf grösseren Flächen in den Räumen Kleindietwil-Langenthal und Kaltenherberg-Roggwil können die Grundwasserergiebigkeit nicht steigern.

- Intensive Wiesenwässerungen zwischen Langenthal und Kaltenherberg, auf einer Fläche von 53 ha mit einer Wässermenge von 350 l/s (mittlere Versickerungsleistung 0.2 m^3/m^2d) während 104 Tagen im Jahr, bewirken eine Steigerung der Grundwasseraustritte im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt von ca. 95 l/s, heben den Grundwasserspiegel um ca. 0.5 m an und vergrössern damit das Grundwasserdargebot.

- Falls die Langete-Infiltration wegen der künftig ausbleibenden Hochwasserabflüsse zurückgehen sollte (Abdichtung des Gerinnes), wird die verfügbare Grundwassermenge geschmälert. Ein Rückgang der Infiltrationsleistung um 50 % auf ca. 120 l/s reduziert die Grundwassermächtigkeit um ca. 0.4 m.

- Mit einer künstlichen Grundwasseranreicherung in westlichen Hardwald kann das Grundwasserdargebot entscheidend verbessert werden.

Im Raum Bützberg-Hardwald-Mumenthalerweiher kann das Grundwasservorkommen optimal genutzt werden. Ausgehend von den erwähnten Untersuchungsergebnissen hat der Gemeindeverband Wasserversorgung an der unteren Langeten (WUL) einen Ausbau der Fassungsanlagen und eine künstliche Grundwasseranreicherung über Wässermatten zwischen Langenthal und Kaltenherberg beschlossen. Die Konzessionsverfahren laufen. Die zahlreichen im Raum vorhandenen Gefahrenherde (Industrie, Gewerbe, Verkehrswege, Altlasten) erfordern, dass zusammen mit der Wasserversorgung und den Gemeinden vom WEA auch ein griffigeres Schutzkonzept entwickelt und von der Regierung genehmigt wird. Das heutige Schutzzonenkonzept der Schweiz von 1977 genügt nicht, um chemische Verunreinigungen von Fassungen fernzuhalten.

Leider haben die Untersuchungen gezeigt, dass das Grundwasservorkommen der Roggwiler-Terrasse oberhalb des Siedlungsgebietes von Roggwil nur mit sehr kostspieligen Fassungsanlagen einigermassen optimal genutzt werden könnte. Die heutigen Fassungen am Fusse der Roggwiler-Terrasse zu verlegen, ist daher kaum möglich. Dies erfordert auch hier, das Schutzkonzept neu zu überdenken.

Im Raum Kleindietwil-Lotzwil wäre eine intensivere Nutzung des Grundwasserdargebotes unwirtschaftlich.

Die neuen Erkenntnisse bilden wichtige Grundlagen nicht nur für den WUL (Sicherstellung der künftigen Trink- und Brauchwasserversorgung) sondern auch für den Hochwasserschutzverband (Beurteilung der möglichen Langete-Kolmation), die zu gründende Stiftung Wässermatten (Einfluss der künftigen Wässerungspraxis), das kantonale Gewässerschutzamt (Vollzugskonzept Siedlungsentwässerung, in Arbeit; Altlast-Kataster, Beurteilung und Sanierung, geplant), das kantonale Tiefbauamt (Gewässerschutzmassnahmen bei Strassen in Schutzzonen), die SBB (Bahn 2000, Neubaustrecken Mattstetten Rothrist) und anderes mehr.

RESUME

Buts

Dans le cadre de l'exploration systématique des gisements d'eau souterraine importants pour l'approvisionnement en eau potable du canton de Berne, il importait d'approfondir les connaissances acquises sur la vallée moyenne et inférieure de la Langete lors d'une première campagne de travaux (publication 1981).

En 1985, le Grand Conseil approuva un programme de recherches destiné à répondre aux questions suivantes:

- De quelle façon le gisement d'eau souterraine de la Langete doit-il être protégé et géré afin d'assurer à long terme l'approvisionnement régional en eau potable?

- Dans quelle proportion la nappe souterraine est-elle alimentée régionalement ou localement par l'eau de la Langete qui s'infiltre dans les prés irrigués (Wässermatten)? Est-ce que la quantité d'eau souterraine disponible peut être augmentée par une irrigation plus intensive de ces prés?

- Dans quelle mesure les pollutions de la nappe par des solvants (hydrocarbures chlorés volatils) et par des nitrates influencent-elles son utilisation?

Les résultats des premiers examens montrèrent que les proportions entre les différents apports d'eau à la nappe avaient été calculées de façon erronée. L'infiltration de la Langete est bien plus importante qu'on ne l'a supposé jusqu'ici. Ce fait provoque une autre question:

- Quand les hautes eaux de la Langete seront déviées dans la galerie de décharge actuellement en construction et qui sera achevée en 1992, est-ce que l'apport d'eau de la nappe diminuera sensiblement?

Gisements d'eau souterraine

La nappe souterraine située entre Kleindietwil et Roggwil occupe une surface de quelque 20 km^2. Son bassin versant périphérique recouvre encore environ 35 km^2. La moyenne des précipitations régionales pour les années 1984-86 s'élevait à 1290 mm, l'évapotranspiration à environ 600 mm.

La Langete, le cours d'eau principal de la région, a une longueur de 16 km. Sur certains tronçons elle alimente la nappe, sur d'autres elle la draine. Les nombreux prés irrigués sont caractéristiques pour la région. Ils furent établis au moyen âge et ils sont équipés d'un système très compliqué de canaux; malheureusement ils n'enrichissent la nappe que de manière très locale et momentanée. On observe également de nombreuses résurgences, dans la région de Brunnmatt et au pied de la terrasse de Roggwil, qui alimentent de jolis ruisseaux.

L'aquifère est formé par des dépôts glaciaires wurmiens composés principalement de graviers sableux, en partie limoneux.

Entre Kleindietwil et Lotzwil la surface du mur imperméable (principalement roche molassique) de l'aquifère se situe à une profondeur de moins de 10 m sous le terrain. L'épaisseur de la partie saturée de l'aquifère est inférieure à 5 m. L'eau souterraine s'écoule avec un gradient moyen de 1 % et une vitesse de 5 à 20 m/jour. Entre la Langete et la nappe les échanges sont continuels, en grande partie c'est la Langete qui draine la nappe.

En aval de Lotzwil, la situation du mur imperméable et l'épaisseur de l'aquifère sont analogues. A Langenthal, la vallée du Bleienbach débouche sur la Langete: il s'agit d'un chenal glaciaire de 300 m de largeur, de quelque 35 m de profondeur, comblé de matériel morainique et de gravier. Ce chenal imprime sa forme sur le mur de l'aquifère, du moins dans sa partie occidentale. Dans sa partie orientale, le soubassement rocheux continue, pour ensuite s'abaisser brusquement vers le bassin de Langenthal, ceci sur la ligne reliant la gare CFF à la STEP de Langenthal. Une partie de l'eau souterraine en provenance de Lotzwil s'écoule avec un gradient de 10 % par dessus la déclivité en direction du chenal du Bleienbach, l'autre partie reste à un niveau plus élevé et rejoint directement le bassin de Langenthal. Dans cette région très hétérogène du point de vue de l'hydraulique souterraine, on observe des vitesses d'écoulement très différentes variant entre 5 et 100 m par jour. Les épaisseurs de la partie saturée de l'aquifère du chenal de Bleienbach vont jusqu' à 15 m, dans les parties supérieures elles se limitent à quelques mètres. La Langete s'infiltre en grande partie de façon percolative dans la nappe, c'est-à-dire en traversant une zone partiellement saturée. Ce n'est que sur un court tronçon en aval de l'embouchure du Kleinbächlein qu'on observe un drainage de la nappe ou une infiltration directe.

On appelle " bassin de Langenthal" l'aquifère situé entre Bützberg et Roggwil. De Bützberg jusqu'à l'Oberhard le mur de l'aquifère est formé par des dépôts d'eau dormante superposés à la molasse, dans sa partie occidentale près de Bützberg par de la moraine de fond. La surface du mur de l'aquifère présente entre Bützberg et la direction de Roggwil un faible gradient de quelque 0.3 %. Au nord-ouest de Roggwil elle plonge en une déclivité d'environ 10 % en direction de Mange, Roggwil. Dans la région de Bützberg, dans la forêt du Hard et dans la terrasse de Roggwil entre Kaltenherberg et Roggwil, le mur de l'aquifère se trouve la plupart du temps à environ 20 m de profondeur, alors que dans la Brunnmatt et dans la déclivité mentionnée près de Roggwil il se situe à une profondeur comprise entre 1 et 3 m.

La nappe s'écoule de la bordure occidentale près de Bützberg en direction de la forêt du Hard, se joint à la nappe provenant de la vallée moyenne de la Langete et continue vers Roggwil avec un gradient toujours plus grand. Dans la région de Bützberg, où le gradient n'est que de 0.06 % les vitesses moyennes d'écoulement ne sont que de quelques mètres par jour. Dans la région de la forêt du Hard (gradient d'environ 0.2 %), les vitesses sont de 10 à 30 m par jour; près de Kaltenherberg elles sont analogues; leur gradient est d'environ 0.7 %.

Dans la zone sourcière de Brunnmatt environ la moitié de la nappe se décharge. L'autre moitié s'écoule dans la terrasse de Roggwil, avec un gradient moyen d'environ 0.6 % et une vitesse d'écoulement de quelque 20 m par jour en direction de Roggwil, et se décharge soit dans la région de la chute de la Langete, soit dans la zone sourcière de Mange.

Dans le bassin de Langenthal, l'épaisseur de la partie saturée de l'aquifère varie en général entre 5 et 10 m. De Bützberg en direction du Hardwald elle augmente, pour ensuite diminuer et atteindre 5 m à Kaltenherberg. Les plus grandes épaisseurs ont été mesurées au Hardwald (12 m) et près des écoles du Hard. Dans la terrasse de Roggwil la partie saturée de l'aquifère atteint un maximum de 5.7 m au sud du Grossfeld, mais en général il ne dépasse pas les 5 m. Cette épaisseur diminue en direction de Mange et de Brunnmatt, où elle est inférieure à 2.5 m.

Entre Langenthal et Roggwil, le lit de la Langete est situé à 15 m au-dessus de la nappe et l'eau s'infiltre par percolation. Entre Roggwil et Mange la Langete a creusé un lit à grande déclivité dans la partie bordière de la terrasse. Jusqu'à l'embouchure du Brunnbach, à Mange, la nappe de la terrasse de Roggwil se décharge dans la Langete; en aval du Brunnbach, jusqu'à son embouchure dans la Rot, la Langete draine également l'aquifère limitrophe, quoique dans une moindre mesure.

Bilan de la nappe

Le bilan dynamique de la nappe souterraine se présente de la façon suivante (moyenne des années 1984 à 1986): à Kleindietwil, l'aquifère a un débit de 35 l/s, à Lotzwil de 70 l/s, à Langenthal de 300 l/s et à Kaltenherberg de 610 l/s.

Les apports d'eau souterraine s'élèvent à 1000 l/s, les décharges, considérées à long terme, sont de la même grandeur. La nappe est alimentée pour une proportion de 70 % par l'infiltration des précipitations (formation directe et indirecte d'eau souterraine) et pour 20 % par l'infiltration d'eau de la Langete. Les 10 % restants se composent des arrivées d'eau souterraine à Kleindietwil et de l'eau qui s'infiltre dans les prés d'irrigation et dans le bassin collecteur des hautes eaux dans la forêt du Hard.

La plus grande partie de l'eau souterraine, soit une proportion de 83 % environ, se décharge dans les zones sourcières de Brunnmatt et de Mange et dans la Langete. Quelque 16 % sont prélevés pour l'alimentation des réseaux d'eau potable et d'eau d'usage, environ 1 % quitte l'aquifère par voie souterraine ou se décharge dans la Rot.

Le débit de prélèvement d'eau souterraine concessionné s'élève à 500 l/s, le débit prélevé effectivement à 160 l/s (moyenne des années 1984 à 1986). Le débit utilisable s'élève à 270 l/s, dont 200 l/s sont disponibles dans le bassin de Langenthal.

Des mesures couvrant de longues périodes indiquent que les débits utilisables ont diminué depuis les années 40. Le niveau piézométrique dans la forêt du Hard (puits Hard I, WUL) est descendu de 2 m, le débit des sources à Madiswil, ainsi que dans les zones sourcières de Mange et de Brunnmatt a diminué de 30 à 40 %. Les causes de ces diminutions sont les prélèvements plus importants d'eau souterraine (augmentation de 60 l/s depuis 1950 dans le bassin de Langenthal), l'imperméabilisation du sol par les constructions, la diminution des surfaces d'irrigation des prés et la diminution de l'intensité des irrigations dans les rares régions où l'irrigation alimente la nappe.

Qualité des eaux souterraines

Les analyses chimiques des paramètres standard effectuées au cours de ces dernières années (contrôle périodique de l'eau potable par le Laboratoire cantonal, analyses effectuées dans le cadre des programmes de recherches hydrogéologiques et du programme de surveillance qualitative et quantitative des eaux souterraines, lancé par le syndicat pour la protection contre les hautes eaux, le syndicat pour l'alimentation en eau des communes de la Langete inférieure [WUL] et l'OEHE) indiquent que la qualité de l'eau est conforme aux normes d'eau potable. Seules les teneurs en nitrates donnent lieu à de sérieuses préoccupations. Les valeurs varient sensiblement dans le temps et l'espace. On constate que 50 % des échantillons accusent des teneurs supérieures à 25 mg/l, et certains échantillons dépassent même le seuil de tolérance de 40 mg/l. L'eau de la Langete présente elle aussi des teneurs variant entre 25 et 30 mg/l, de sorte que son infiltration dans les nappes n'apporte pas d'amélioration à la qualité de l'eau souterraine.

Les analyses de régression de longues séries de mesures prouvent que les teneurs en nitrate ont augmenté au cours de ces dernières années. Ce phénomène est certainement dû à l'augmentation de la surface des terres labourées (p.ex labourage des prés d'irrigation) et à l'augmentation de la culture du maïs. Ce dévelopement doit être suivi avec attention. La lutte engagée contre les causes des teneurs en nitrate promet des améliorations. Le succès n'apparaîtra pas immédiatement, car le renouvellement total du volume d'eau souterraine prend deux à trois ans.

Divers sites contaminés par des hydrocarbures chlorés volatils polluent des zones plus ou moins grandes de la nappe. La pollution la plus importante dans la région Bützberg - forêt du Hard est en train d'être supprimée. Ces travaux de dépollution font l'objet d'un autre rapport. A plusieurs endroits l'eau souterraine accuse des teneurs en pesticides (atracine et simacine) supérieures aux limites tolérables. Les restrictions à l'utilisation de ces produits, décrétées par la Confédération, auront sans nul doute un effet bénéfique sur la qualité de l'eau.

Plan d'utilisation et de protection

A l'aide du modèle numérique d'écoulement "Langetental" on a examiné huit scénarios de gestion. Les résultats sont déterminants pour la gestion du tronçon le plus important de l'aquifère, celui situé sous la forêt du Hard au nord-ouest de Langenthal.

- L'absence de l'infiltration par les hautes eaux de la Langete n'aura que des effets négligeables sur le volume disponible d'eau souterraine.

- Une augmentation sensible de l'apport hydrique par irrigation et de la surface des prés irrigués dans les régions de Kleindietwil-Langenthal et de Kaltenherberg-Roggwil n'augmentera pas le volume d'eau souterraine disponible.

- Des irrigations intensives de prés entre Langenthal et Kaltenherberg sur une surface de 53 ha avec une quantité de 350 l/s (infiltration moyenne 0.2 m^3/m^2j) pendant 104 jours par année provoquent une augmentation de 95 l/s

de la décharge d'eau souterraine dans la zone sourcière de Brunnmatt, relèvent le niveau piézométrique de la nappe de 0.5 m et augmentent ainsi le volume disponible d'eau souterraine.

- Si l'infiltration d'eau de la Langete venait à diminuer à cause de l'absence d'écoulement de hautes eaux et du colmatage du lit de la rivière qui s'en suit, le volume d'eau souterraine disponible diminuerait. Une diminution de l'infiltration de 50 %, soit de 120 l/s, réduirait l'épaisseur de la zone saturée de l'aquifère de 0.4 m.

- Une réalimentation artificielle de la nappe dans la partie occidentale de la forêt du Hard améliorerait sensiblement le volume d'eau souterraine disponible.

Dans la zone Bützberg - Forêt du Hard - étang de Mumenthal le gisement d'eau souterraine peut le mieux être exploité. Se basant sur les résultats décrits, le WUL a décidé d'agrandir ses installations de captage et d'établir une réalimentation artificielle de la nappe par le système des prés irrigués entre Langenthal et Kaltenherberg. Les procédures de concession sont en route. Dans la région il existe de nombreux foyers de pollution potentiels (industrie, artisanat, voies de circulation, sites contaminés) qui exigent que l'OEHE, de concert avec le syndicat et les communes, établisse un plan de protection plus efficace et le fasse approuver par le gouvernement. Le plan de protection en vigueur actuellement (plan Suisse de 1977) ne suffit pas à protéger les captages contre les pollutions chimiques.

Malheureusement, il a été prouvé que la nappe de la terrasse de Roggwil en amont de la zone d'habitation de Roggwil ne peut être exploitée que par des captages très coûteux. C'est pourquoi il n'est guère possible de transférer les captages actuels situés au pied de la terrasse de Roggwil. Il faudra donc aussi revoir le plan de protection.

Dans la zone Kleindietwil - Lotzwil une utilisation plus intense de la nappe ne serait pas rentable.

Les connaissances nouvellement acquises sont des bases de planification importantes pour le WUL (alimentation du futur réseau d'eau potable et d'eau d'usage), pour le syndicat de protection contre les hautes eaux (appréciation du degré de colmatage de la Langete), pour la future fondation "Prés irrigués" (influence du futur mode d'irrigation), pour l'Office cantonal de la protection des eaux (programme d'exécution concernant l'évacuation des eaux des agglomérations; inventaire des sites contaminés, appréciation et assainissement), pour l'Office cantonal des Ponts et Chaussées (mesures de protection des eaux pour les routes situées dans des zones de protection) et pour les CFF (rail 2000, nouveau tronçon Mattstetten - Rothrist), pour ne citer que les principaux intéressés.

(Traduction: G. della Valle, OEHE)

HYDROGEOLOGIE
MITTLERES UND UNTERES LANGETETAL

1. EINLEITUNG

1.1 Ziel der Untersuchungen

Im Kanton Bern besitzt der Staat das Hoheitsrecht über die öffentlichen Gewässer. Er ist von Gesetzes wegen verpflichtet, das Wasser mengen- und gütemässig zu schützen und eine zweckmässige Bewirtschaftung zu ermöglichen.

Diese Aufgabe erfordert umfassende Kenntnisse über die Eigenschaften der Grundwasservorkommen.

Im Jahre 1981 wurde ein erster Bericht [1] vorgelegt, welcher die hydrogeologischen Verhältnisse in den Teilgebieten Langenthal, Roggwiler-Terrasse, Mittleres Langetental, Oenztal und Bipperamt generell beurteilt. Dieser Bericht stützte sich auf Messungen und Untersuchungen, die vorwiegend in den Jahren 1969 bis 1975 durchgeführt worden sind. Bei der abschliessenden Berichterstattung war bereits klar:

Im Langetental, zwischen Madiswil und Roggwil

- reichen die verfügbaren hydrogeologischen Unterlagen nicht aus, um die Bewirtschaftung und den Schutz des Grundwasservorkommens zuverlässig zu steuern;

- sind die Hydrologischen Kennziffern (insbesondere Durchlässigkeitsbeiwerte) und die Grundwasserzu- und -wegflüsse teilweise mit Methoden bestimmt worden, die keine ausreichende Genauigkeit ergeben. Dies haben unsere Abklärungen im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Wasserhaushalt [2] klar gezeigt;

- müssen die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen der Wasserführung der Langete und ihrer Infiltration ins Grundwasser vertieft werden;

- wird der Einfluss der Wiesenwässerung in Raum und Zeit sowohl mengen- wie gütemässig nur unzureichend überblickt.

Es mussten deshalb bessere Entscheidungsgrundlagen erarbeitet werden, um die anfangs der 80-er Jahre bekannten oder sich abzeichnenden, nachstehend aufgeführten Probleme behandeln zu können:

1) Nutzung und Schutz des Grundwasservorkommens im Langenthaler Raum sind schwierig wegen den Eigenschaften des Grundwasserleiters und der vorhandenen Besiedlung mit ihren verschiedenen Gefahrenherden. Bei tiefen Wasserständen treten bei vereinzelten Grundwasser-Fassungsanlagen Schwierigkeiten auf, die gewünschten Wassermengen zu pumpen. Das geförderte Wasser weist im allgemeinen hohe Nitrat- und Atrazingehalte auf, vereinzelt überschreiten sie sogar die Toleranzgrenzen [48, 49].

2) Das zur Zeit in Ausführung stehende Langete-Hochwasserschutz-Projekt [10] wird zur Folge haben, dass unterhalb Madiswil, beim Einlaufbauwerk des Entlastungsstollens, das Langetegerinne bei Abflüssen $\leq$ 70 m^3/s zukünftig nur noch maximal mit 12 $\pm$ 1 m^3/s beschickt wird. Die jährlich regelmässig stattfindenden Hochwasserversickerungen im Hardwald werden künftig ausbleiben oder zumindest nur noch sehr selten (alle paar Jahre) auftreten. Das Fehlen grösserer Hochwasserabflüsse wird sehr wahrscheinlich zu einer Abdichtung (Kolmation) des Bachbettes führen, die Speisung des Grundwasservorkommens mit Langete-Infiltrat wird zurückgehen [50].

3) In welchem Ausmass künftig Wiesenwässerungen durchgeführt werden können, ist zur Zeit noch offen. Eine Stiftung zur Erhaltung der Wässermatten soll gegründet werden. Ein Antrag an den Grossen Rat läuft. Aus der Sicht der Grundwasserbewirtschaftung ist in diesem Zusammenhang aufzuzeigen, welche Wässerungsgebiete für die Grundwasserspeisung bedeutungsvoll sind und was für Folgen ein vollständiges Auflassen der Wiesenwässerungen hätte.

4) Seit 1981 sind in mehreren Grundwasserfassungen der Trink- und Brauchwasserversorgung Spuren von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) festgestellt worden. Die Gehalte sind an einzelnen Stellen so hoch, dass dem Grundwasser die Trinkwasserqualität abgesprochen werden muss. Im Laufe der Jahre haben sich kilometerlange Verschmutzungsfahnen im Grundwasserleiter ausgebildet. Da diese chemischen Stoffe im Untergrund nicht abgebaut werden, mussten gute Kenntnisse über die Strömungsverhältnisse des Grundwassers erarbeitet werden, um Grundlagen für die notwendige Sanierungen zu erhalten.

1.2 Kredite, Subventionen

Damit die bisherige preisgünstige Trink- und Brauchwasserversorgung der Region, die mit über 90 % mit Grundwasser abgedeckt wird, trotz der erwähnten Konfliktsituation sichergestellt werden kann, ist in den Jahren 1982/83 das Untersuchungsprogramm "Beschaffung der Unterlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen im Raum Langenthal - Roggwil" ausgearbeitet worden.

Der Grosse Rat bewilligte im Jahre 1983 den dazu notwendigen Kredit von Fr. 1 269 630.--. Im Sommer 1986 zeigte es sich, dass die mit dem Programm vorgesehenen Untersuchungen nicht ausreichen, um alle benötigten Resultate zuverlässig genug erarbeiten zu können. Das Untersuchungsprogramm musste erweitert werden. Im Jahre 1986 bewilligte der Grosse Rat einen entsprechenden Zusatzkredit von Fr. 654 000.--. Die Teuerung erforderte 1991 einen Zusatzkredit von Fr. 75 000.--.

Dem Parlament, dem Regierungsrat, besonders den Vorstehern der Direktion für Verkehr, Energie und Wasser, den Herren Regierungsräten, H. Sommer und R. Bärtschi, sowie Herrn Dipl. Ing. ETH-Z R. Merki, Oberingenieur im Ruhestand des WEA, gebührt Dank für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft hat die Arbeiten subventioniert mit Fr. 238 248.--. Seinen Mitarbeitern, insbesondere den Herren Dr. Pedroli, Direktor im Ruhestand, Vizedirektor B. Milani, Dres. C.R. Niggli und B. Meylan danken wir bestens für ihr Interesse und ihre Hilfe.

1.3 Untersuchungsgebiet und -zeitraum

Das Untersuchungsgebiet geht aus Beilage I hervor. Es umfasst entsprechend den hydrogeologischen Fragestellungen im wesentlichen das Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil mit den dazugehörenden seitlichen Einzugsgebieten.

Die östliche Grenze verläuft von Kleindietwil, wo die Langete quer zum Tal fliesst, entlang der Wasserscheide über Sennjöggel, Hohwacht, Rüppiswil, Habcherig, Moosrain, Hagelberg, Buechwald bis zur Rot bei Breiten, Roggwil, und anschliessend entlang der Rot bis zu ihrem Zusammenfluss mit der Langete.

Die westliche Grenze führt von Wacht bei Ursenbach über Linden, Dornegg, Schluecht ins Bleienbachtal, durchquert es zwischen Thörigen und Bleienbach. Verläuft weiter nach Bützberg und entlang der Wasserscheide des Spychigwaldes über Vorstadt, Aarwangen, entlang der Wasserscheide des Muniberges bis zur SBB Station Roggwil/Wynau und zum Brunnbach nördlich Roggwil.

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 65 km^2. Der bewaldete Anteil beträgt ca. 19 km^2, die Siedlungsflächen ca. 7 km^2. Der übrige Teil von ca. 39 km^2 wird vorwiegend landwirtschaftlich genutzt. Die Hohwacht ist mit 781.6 m ü.M. der höchste Punkt, der tiefste liegt bei der Einmündung des Brunnbachs in die Murg auf einer Höhe von ca. 425 m ü.M.

Im Westen grenzt das Untersuchungsgebiet teilweise an dasjenige des Untersuchungsprogramms "Hydrogeologie Oenztal" [3]. Die beiden Untersuchungsgebiete überlappen sich im Bleienbachtal, das aus modelltechnischen Überlegungen (vgl. Kap. 5) teilweise in unser Grundwassermodell einbezogen wurde.

Der Aufbau bzw. die Erweiterung des Messstellennetzes, die Feldversuche und Messungen sind mehrheitlich in den Jahren 1984 bis 1986 durchgeführt worden. Die meisten zeitabhängigen Resultat-Darstellungen beschränken sich deshalb auf diesen Zeitraum. Vereinzelte massgebende Bohr-, Versuchs- und Messresultate aus öffentlichen und privaten hydrogeologischen Untersuchungen bis 1991 wurden jedoch in den Beilagen und bei der Ausarbeitung des Schlussberichtes berücksichtigt.

1.4 Untersuchungsablauf

1.4.1 Allgemeines

Tabelle 1.1 gibt eine zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Hydrologischen Grundlagedaten und Kennziffern, welche orts- und grösstenteils auch zeitabhängig sind. Im Rahmen dieser Untersuchungen mussten sie mit Hilfe von Messungen, Feldversuchen und Berechnungen deshalb möglichst über das Untersuchungsgebiet verteilt und für mehrere Jahreszyklen ermittelt werden.

Tab. 1.1: Hydrologische Grundlagedaten und Kennziffern

Begriff	Abkürzung	Einheit	zeitabhängig	ortsabhängig	Erläuterung in Abschnitt
Niederschlag	N	m3/sm2	ja	ja	3.2.1
Verdunstung	V	m3/sm2	ja	ja	3.2.2
Grundwasserspiegel	Gwsp	m ü.M.	ja	ja	3.5.1
Oberflächenwasserspiegel	Wsp	m ü.M.	ja	ja	3.3.1
oberirdische Abflussmenge	Q	m3/s	ja	ja	3.3.2
unterirdische Abflussmenge (= Profildurchfluss)	QP	m3/s	ja	ja	4.1.1/4.2.1
Durchlässigkeitsbeiwert	k	m/s	nein*	ja	2.5.1
Speicherkoeffizient	S	-	nein*	ja	2.5.2
durchflusswirksame Porosität	nf	-	nein*	ja	2.5.3
Grundwassermächtigkeit	H	m	ja	ja	2.3
Flurabstand	HF	m	ja	ja	2.3
Grundwasserstauer		m ü.M.	nein	ja	2.2
Seitliche Begrenzung des Grundwasserspiegels		Landeskoord.	ja	ja	2.3

* Mittelwerte sind von der Lage des Grundwasserspiegels und somit indirekt von der Zeit abhängig; die Abhängigkeit kann bei sinnvoller Mittelbildung meistens vernachlässigt werden

Praktisch alle Hydrologischen Grundlagedaten und Kennziffern sollten raumabhängig bekannt sein. Die benötigten Messwerte können jedoch in der Regel nur punktuell erhoben und müssen mit Interpolationsmethoden in die erforderliche Dimension umgerechnet werden. Es liegt in der Natur des Sache, dass Messwerte mit Fehlern behaftet sind, allfällig notwendige Berechnungen, Interpolationen und Extrapolationen zusätzliche Ungenauigkeiten bewirken.

Mit neuen Erkundungsmethoden, dem Eliminieren von systematischen Fehlern an Messwerten, verbesserten Interpolationsmethoden, mehrfachen unabhängigen Mess- und Berechnungsverfahren etc. lassen sich die Fehlereinflüsse auf ein vertretbares Mass reduzieren. Eine weitere Fehlerreduktion ist zudem möglich durch das Lösen von überbestimmten Gleichungssystemen mit der Methode der Ausgleichungsrechnung.

Im folgenden werden bei Hydrologischen Kennziffern und Grundlagedaten die entsprechenden Ungenauigkeiten nicht jedesmal erwähnt. Der sog. mittlere Fehler variiert in den meisten Fällen zwischen ca. ±2 % bis ca. ±10 %, in Ausnahmefällen kann er bis über ±20 % anwachsen.

1.4.2 Einbezug vorhandener Untersuchungen

Geologische Aufschlüsse und hydrologische Daten aus früheren und parallel durchgeführten Untersuchungen sowie die von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) und der Landeshydrologie erhobenen Daten sind bei unseren Arbeiten miteinbezogen worden. Es sind insbesondere zu erwähnen:

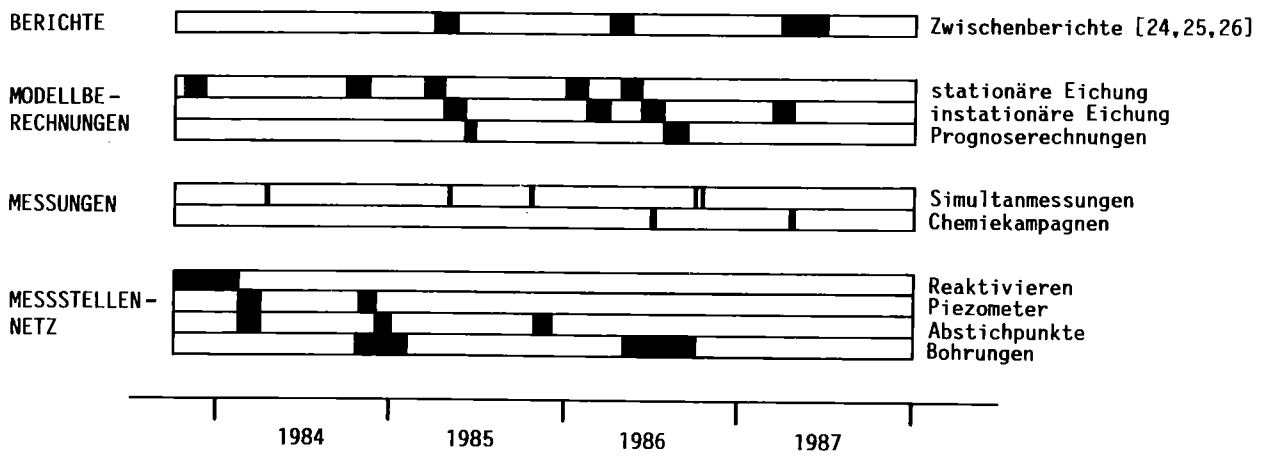
- die im ersten WEA-Bericht von 1981 [1] zusammengefassten Resultate der hydrogeologischen Untersuchungen im Oberaargau, die auch weitgehend die vorgängig ermittelten enthalten [4,5,6];
- Grundwasserspiegel-Daten des vom WEA seit 1981 aufgebauten und betreuten permanenten Messstellennetzes [7];
- Untersuchungen über die Verschmutzung des Grundwassers mit leichtflüchtigen Chlor-Kohlenwasserstoffen im Raum Bützberg-Langenthal [12,13,14];
- hydrogeologischen Arbeiten im Zusammenhang mit dem Langete-Hochwasserschutz-Projekt [8,9,10];
- die im Auftrag des Gemeindeverbandes Wasserversorgung an der unteren Langeten (WUL) erarbeiteten Projektierungsgrundlagen für die Steigerung der Grundwassergewinnung im Hardwald und für die Wiesenwässerung in der Wüestimatte/Grossmatte [15,16];
- Klima- und Niederschlagsdaten aus dem Messstellennetz der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt [17];
- Abflussdaten aus dem Messstellennetz der Landeshydrologie [18];
- Arbeiten im Zusammenhang mit der Erhaltung und Wiederherstellung der Wässermatten [11,19,20,21,22,23];
- von den öffentlichen und privaten Wasserversorgungen erhobenen Daten über Grundwasser-Entnahmemengen, Quellschüttungen und Wasserspiegel;
- Bohrresultate der SBB: Bahn 2000, NBS Mattstetten-Rothrist;
- Bohrresultate und Baugrundaufschlüsse von öffentlichen und privaten Bauten;
- hydrologische Untersuchungen für die Projektierung von öffentlichen und privaten Grundwasserfassungen.

1.4.3 Zeitlicher Ablauf

Zu Beginn der Untersuchungen sind die vorhandenen Unterlagen gesichtet und soweit nötig aufgearbeitet worden. Mit den zusammengestellten Daten wurden in einem ersten Schritt das numerische Grundwasser-Strömungsmodell Langetental generell aufgebaut, die natürlichen Strömungsverhältnisse im Grundwasserleiter generell nachvollzogen und gezielt kontrolliert, welche Informationen für die angestrebte Genauigkeit noch fehlten. Gestützt auf diese Erkenntnisse wurde das Messstellennetz verdichtet, das Strömungsmodell laufend den neuen Daten angepasst, anhand der Modellergebnisse die weiteren Messstellen und Messungen konzipiert. Dieses gewissermassen iterative Vorgehen erlaubte, möglichst umfassend und kostengünstig das Messstellennetz auszubauen und die gestellten Fragen zu beantworten.

Einen Überblick über den zeitlichen Ablauf der Arbeiten ohne den Schlussbericht vermittelt Figur 1.1.

Fig. 1.1: Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen



Beim Verdichten des Messstellennetzes sind generell Bohrungen abgetieft, Piezometer gerammt, Abstichpunkte angebracht und Wasserstands-Schreibpegel aufgestellt worden. Für sämtliche Messstellentypen wurden die sog. Stammdaten [2] erhoben und damit die wichtigsten Informationen wie z.B. Lage, Höhe, Ausbau, Eröffnung etc. festgehalten.

Im Messstellennetz wurden je nach Messstellentyp vereinzelt, periodisch oder auch kontinuierlich Wasserstände erhoben (Messstellen im Grundwasser: Bohrungen und Piezometer; an Oberflächengewässern: Abstichpunkte), Abflussmengen gemessen (Messstellen an Grundwasseraustritten und Oberflächengewässern: Messprofile, Abflussmessstationen) sowie Wasserproben für chemische Analysen entnommen.

Beim Abtiefen der Bohrungen sind Informationen über den Aufbau des Grundwasserleiters und die Lage des Grundwasserstauers gewonnen worden. In sämtlichen neuen und soweit möglich auch in den alten, bestehenden Bohrungen wurden Durchlässigkeitsversuche mit Flowmetermessungen [2,27] durchgeführt.

1.5 Bearbeiter

Die Untersuchungen standen unter der Leitung von Dr. R.V. Blau, Stabsstelle Geologie des Kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes (WEA). Er bearbeitete auch die geologischen Belange. Für den Programmablauf, die Bauleitung der Bohrungen, die Erstellung der übrigen Messstellen, die Feldversuche, die Datenerhebung und -verarbeitung, den Aufbau des numerischen Strömungsmodells, die Modelleichung und Modellsimulationen sowie für die übrigen hydrologischen Auswertungen und Darstellungen war das Ingenieur- und Studienbüro A. Werner, dipl. Ing. ETH zuständig, vor allem: A. Werner und M. Würsten (seit 1989 im GTI, Bern), dipl. Ing. ETH-Z; F. Lüthi, F. Muchenberger (seit 1987 im WEA, Bern), P. Biedermann, R. Bigler, dipl. Ing. HTL; R. Ryser, R. Marx sowie Frau S. Nolte und L. Suter.

Ein Teil der hydrometrischen Messstationen wurde durch das WEA betreut. Die physikalisch-chemischen und bakteriologischen Analysen besorgte grösstenteils das Kantonale Laboratorium Bern. Die geophysikalischen Untersuchungen (VLF-Messungen) sind von Prof. Dr. I. Müller, Neuenburg, die Bohrarbeiten von Grund- und Tiefbau AG, Bern, und Stämpfli AG, Spezialtiefbau, Langnau, durchgeführt worden.

An dieser Stelle sei allen, die mitgeholfen haben, ganz herzlich gedankt. In den Dank einbezogen werden auch die Mitarbeiter der Industriellen Betriebe, Wasserversorgungen und Bauverwaltungen der im Untersuchungsgebiet liegenden Gemeinden. Sie waren stets bereit, ihre Unterlagen und ihr spezielles Wissen mitzuteilen. Ebenfalls herzlichen Dank gebührt den vielen Privaten, die uns bereitwillig ihre örtlichen Kenntnisse, ihr Land für Bohr-, Rammarbeiten und Installationen von Messgeräten zur Verfügung stellten.

1.6 Dokumentation der Untersuchungsresultate

Während der Untersuchungsperiode wurde in drei Zwischenberichten periodisch über wichtige Teilergebnisse berichtet [24,25,26]. In diesem Schlussbericht werden der Untersuchungsablauf kurz rekapituliert, die Untersuchungsergebnisse zusammengestellt und interpretiert.

Es würde den Umfang diese Berichtes sprengen und die Leserlichkeit unnötig erschweren, wenn sämtliche erhobenen Daten und die zum Teil komplexen und umfangreichen Berechnungen hier wiedergegeben werden. Sie liegen als Arbeitsunterlagen vor, der Grossteil der Messdaten auf Disketten für IBM-kompatible Computer gespeichert.

Bekanntlich erhält für die hydrogeologische Dokumentation des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes jedes Feldobjekt (Messstelle, Bohrung, Fassung usw.) eine koordinatenbezogene WEA-Nummer, z.B. 625.231/1 (letzte Zahl als fortlaufende Ordnungsnummer). Die in die Untersuchungen einbezogenen Objekte werden

zudem mit einer fünfstelligen Feld- bzw. Kurzbezeichnung nummeriert, z.B. AAAF1. Im Textteil des Berichtes wird die Kurzbezeichnung verwendet, in den Beilagen I, II, III und in Figur 6.1 jeweils die Ordnungsnummer der WEA-Bezeichnung angegeben. In den Uebersichtstabellen und -figuren werden die in die Untersuchungen einbezogenen Objekte mit der Kurzbezeichnung und den WEA-Nummern zusammengestellt (z.B. Tabellen 2.1, 2.2, 3.10, Figuren 3.7, 3.9).

1.7 Bisherige Nutzniesser von Untersuchungsresultaten

Die oben erwähnten Zwischenberichte und auf Anfrage weitere Untersuchungsergebnisse wurden den Gemeindeverwaltungen im Untersuchungsgebiet, interessierten Amtsstellen, Verbänden, Ingenieurbüros, Privaten usw. laufend zugestellt. Damit profitieren an den hydrogeologischen Erkenntnissen laufend neben kleinen Bau-, Grundwasserschutz- und -nutzungsvorhaben vor allem folgende Grossprojekte:

- Wässerungs- und Fassungskonzept Wüestimatte bzw. Hardwald (Gemeindeverband Wasserversorgung an der unteren Langeten, WUL)
- Hochwasserschutz unteres Langetental (Hochwasserschutzverband unteres Langetental, HWUL)
- Mengen- und Güteüberwachung im Langetental zur Ermittlung allfälliger Einflüsse der Hochwasserschutz-Massnahmen auf das Grundwasser (HWUL, WUL, WEA)
- Erhaltung der Wässermatten (BLN-Objekt Nr. 1312) Langetental (Kant. Arbeitsgemeinschaft Wässermatten)
- Sanierung der CKW-Verschmutzung Bützberg (WEA)
- Bahn 2000: Neubaustrecke NBS Mattstetten-Rothrist (SBB).

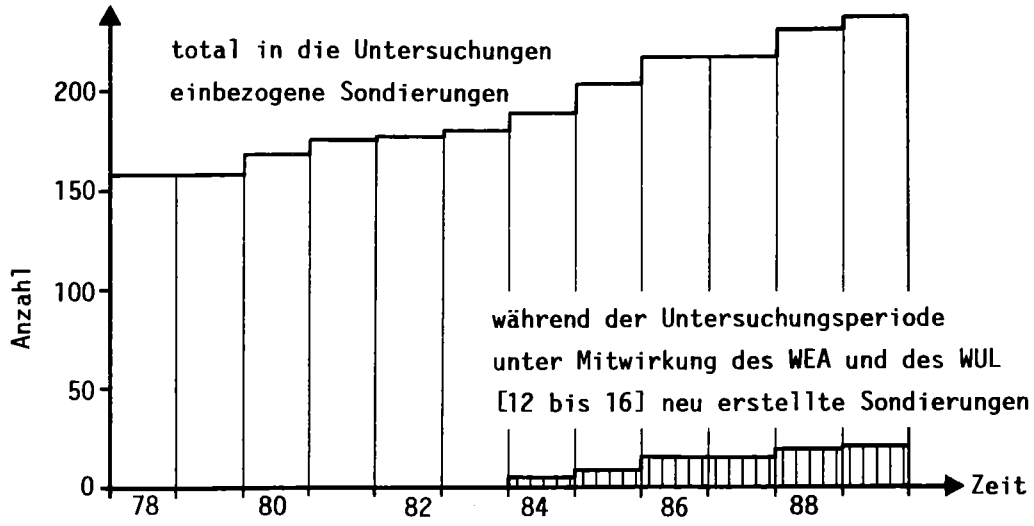
2. HYDROLOGIE

2.1 Sondierbohrungen

Sondierbohrungen werden vor allem abgetieft, um den Profilaufbau des Untergrundes kennenzulernen, die Oberfläche des Grundwasserstauers festzustellen, Messstellen zur Ermittlung der Grundwasserstände, der Strömungsverhältnisse, der Eigenschaften des Grundwasserleiters zu schaffen.

Einen generellen Überblick über die Anzahl der in die Untersuchungen einbezogenen Sondierbohrungen vermittelt Figur 2.1.

Fig. 2.1: Anzahl Sondierbohrungen



Als im Frühjahr 1984 die Untersuchungen begannen, lagen in der Dokumentationsstelle des WEA von ca. 180 Sondierungen aus hydrogeologischen Untersuchungen und Baugrundabklärungen detaillierte Angaben über den Aufbau des Grundwasserleiters und mehrheitlich die Höhenlage des Grundwasserstauers vor. Bei diesen Sondierungen handelte es sich grösstenteils um Rotationskernbohrungen, untergeordnet um Rotationsspülbohrungen und Brunnenbohrungen, vereinzelt auch um Baggerschlitze und Rammsondierungen.

Bei Rotationskernbohrungen kann das Bohrgut am zutreffendsten klassifiziert werden, dagegen ist bei Rotationsspülbohrungen die Interpretation des Bohrgutes meistens schwierig, insbesondere Schotter und Moräne können häufig kaum voneinander unterschieden werden. Bei Brunnenbohrungen lässt sich vor allem im Bereich unter dem Grundwasserspiegel der Anteil des Feinmaterials nicht zuverlässig bestimmen. Baggerschlitze können nur bis ca. 5 m abgetieft werden. Auch Rammsondierungen erreichen lediglich beschränkte Tiefen, ihre Interpretation ist zudem nicht immer eindeutig.

Die vorhandenen Unterlagen der Sondierungen sind neu aufgearbeitet, dem Sondierverfahren entsprechend gewichtet und in eine projektorientierte Datenbank eingelesen worden.

Im Rahmen der eigentlichen Untersuchungen für die Hydrogeologie Langenthal wurden seit 1984 17 Rotationskernbohrungen abgetieft, in Gebieten, die mit den vorhandenen Sondierungen nicht oder ungenügend hydrogeologisch erschlossen waren. Im Vordergrund standen dabei die folgenden Wissenslücken:

- Verlauf der im Bleienbachtal erschlossenen tiefen Rinne, der sog. Bleienbachrinne, im Bereich von Langenthal

- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters westlich von Bützberg und im südlichen Bereich der Roggwiler-Terrasse

- Mächtigkeit und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters in den Wässerungsgebieten Allme, Lotzwil, Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal, und im Bereich der Roggwiler-Terrasse

- Verlauf des Grundwasserstauers zwischen Lotzwil und Langenthal.

Sofern es technisch möglich war, d.h. in unüberbauten Gebieten, wurden die Bohrstandorte aufgrund von sog. VLF-Messungen ermittelt. VLF-Messungen basieren auf in der Atmosphäre vorhandenen Trägerwellen von Radiosendern und grossen Funkstationen in den Frequenzbereichen von ca. 20 bis 200 kHz (VLF: Very Long Frequency) [28]. Diese elektromagnetischen Wellen dringen auch in den Untergrund ein, erzeugen elektrische Potentialdifferenzen, welche materialabhängig sind und ermöglichen bei günstigen Materialkonfigurationen mit verhältnismässig geringem Aufwand flächenmässig einen generellen Überblick über die Mächtigkeit und die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters zu gewinnen. Die aus diesen Messungen abgeleiteten Resultate sind ausführlich im Zwischenbericht 1986 [26] dargestellt und auch bei der Interpolation der Grundwasserstauer-Höhen berücksichtigt worden (vgl. Abschnitt 2.2.).

In der Tabelle 2.1 sind wichtige Daten der 17 WEA-Bohrungen zusammengestellt worden. Die Standorte gehen aus Beilage 1 hervor. Die Bohrprofile sind mit Ausnahme derjenigen von LOB07, ROB54 und ROB55, welche erst 1988 abgetieft wurden, in den Zwischenberichten beschrieben und publiziert [24,25,26]. Sämtliche Bohrprofile werden in der Dokumentationsstelle des WEA archiviert.

Tab. 2.1: Daten der WEA-Bohrungen

Feldbezeichnung	WEA-Nummer	Koordinaten y [m]	Koordinaten x [m]	OK Terrain [m ü.M.]	UK Deckschicht [m ü.M.]	OK Grundwasserstauer [m ü.M.]	OK feste Molasse [m ü.M.]	Bohrende [m ü.M.]
LOB07*	626.227/2	626'520	227'280	494.60	491.60	482.40	482.00	481.80
LOB20	626.226/35	626'502	226'827	498.80	497.70	489.40	489.40	488.30
LOB21	626.226/13	626'474	226'073	507.10	506.50	499.90	499.10	498.10
LTB20	626.228/3	626'030	228'060	486.20	483.10	460.00	460.00	458.80
LTB21	625.228/7	625'915	228'985	476.85	476.35	443.55	440.55	439.65
LTB22	626.229/50	626'095	229'050	477.05	475.45	460.25	460.25	459.05
LTB23	625.228/8	625'780	228'930	476.85	476.35	462.15	462.15	460.85
LTB29	626.228/4	626'781	228'235	488.35	486.85	480.25	479.95	478.35
LTB30	627.231/4	627'075	231'215	455.20	455.00	448.20	448.20	446.20
LTB31	626.231/24	626'510	231'545	455.88	455.38	441.78	441.68	439.88
THB18+	623.229/10	623'227	229'260	476.30	475.30	450.10	448.70	446.30
AAB22	626.231/23	626'170	231'835	456.40	456.20	439.70	439.70	437.90
ROB51	627.232/40	627'945	232'060	454.60	452.90	436.20	431.00	430.60
ROB52	628.232/7	628'660	232'215	452.50	451.90	437.10	437.10	434.50
ROB53	628.232/5	628'250	232'485	452.85	450.45	434.35	434.35	432.85
ROB54	628.232/15	628'362	232'838	447.10	446.50	433.50	433.50	431.10
ROB55	628.231/9	628'377	231'975	454.10	452.90	439.20	n.e.	435.10

* Beitrag geleistet an private Bohrung

\+ Kombiniert mit CKW-Programm

n.e.: nicht erreicht

In den neu abgetieften WEA-Bohrungen mit Ausnahme von LTB21, ROB51, ROB55 und THB18 bilden Sedimente oder Verwitterungsprodukte der Molasse den Grundwasserstauer. Darüber liegen praktisch durchwegs Schotter aus sandigen Kiesen mit mehr oder weniger Feinanteilen und Steinen. Den Abschluss gegen die Terrainoberfläche bilden unter der Humusschicht mehrheitlich wenig mächtige Deckschichten aus Stillwasserablagerungen und/oder künstlichen Auffüllungen. Bei den Bohrungen ROB51 und THB18 wirken Stillwassersedimente als Grundwasserstauer, bei den Bohrungen LTB21 und ROB55 Moränenablagerungen, welche auf der Molasse liegen.

Neben den WEA-Bohrungen konnten seit 1984 ungefähr weitere 30 Bohrungen, die für andere Untersuchungsprogramme abgetieft wurden, in unsere Auswertungen einbezogen werden. Insbesondere zu erwähnen sind diejenigen, welche im Rahmen der Untersuchungen der CKW-Verschmutzung des Grundwassers im Raum Bützberg-Langenthal [12,13,14], des Langete-Hochwasserschutz-Projektes [10], der Projektierung einer nutzbringenden Wiesenwässerung in der Wüestimatte/Grossmatte und der Steigerung der Grundwassergewinnung im Hardwald [15,16] sowie der Projektierung der Bahn 2000 abgetieft wurden. Sie brachten wesentliche zusätzliche Aufschlüsse über die hydrologischen Verhältnisse im Raum Bützberg-Hardwald, im Bleienbachtal und im Wässerungsgebiet Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal.

2.2 Grundwasserstauer

Die Oberfläche des Grundwasserstauers, im folgenden kurz auch Stauerfläche genannt, bildet die untere und seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters. Sie bestimmt zusammen mit dem Grundwasserspiegel die Ausdehnung und die Mächtigkeit des Grundwasservorkommens. Ihr Verlauf muss deshalb bei regionalen hydrogeologischen Untersuchungen möglichst umfassend abgeklärt werden. Dies kann fehlerfrei nur punktuell mit Sondierungen, vor allem mit den kostspieligen Bohrungen, in günstigen Fällen generell mit geophysikalischen Methoden (z.B. VLF-Messungen) erfolgen. Die entsprechenden Resultate werden normalerweise zu sog. Stauerkarten verarbeitet, in denen mit Höhenkurven, sog. Isohypsen, die Oberfläche des Grundwasserstauers nachgebildet wird.

Für die Konstruktion der Stauerisohypsen sind die in Abschnitt 2.1 erwähnten, bis Ende 1989 abgetieften Sondierungen einbezogen worden, wovon ca. 200 den Grundwasserstauer eindeutig erschlossen haben. Die Lage der Stauerisohypsen zwischen den Sondierpunkten mit bekannter Stauerkote (sog. Stützpunkte) wurde mit Hilfe eines digitalen Oberflächenmodells bestimmt [29]: Alle Stützpunkte und allfällige Bruchkanten werden mit Dreiecken vermascht, die Fläche in jedem Dreieck analytisch mit polynomaler Interpolation höherer Ordnung ermittelt und die gewünschten Höhenkurven berechnet. Die festgelegte Oberfläche ist glatt und bricht lediglich an den Bruchkanten mit denen der Modellrand oder geologisch begründete Rinnenstrukturen definiert werden.

Die seitliche Begrenzung des Grundwasserstauers ist, soweit ihr wirklicher Verlauf nicht bekannt war, an den Rändern der Talsohle, 5 Meter unter Terrain mit ungefähr der gleichen Neigung wie die angrenzende Talflanke angenommen worden. Diese Annahme beeinflusst die konstruierten Stauerisohypsen jedoch einzig in den Randzonen. Bei Bützberg, wo gegen Südwesten ein sichtbarer Molassehügel fehlt und deshalb ein analoges Vorgehen nicht möglich war, stützt sich die angenommene Berandung vor allem auf die beiden Bohrungen THB17 [13], THB18 und auf das für die Projektierung des Langete-Entlastungsstollens in diesem Bereich erbohrte Längenprofil [10].

Die Oberfläche des Grundwasserstauers ist für das ganze Untersuchungsgebiet in Beilage II mit 5 m Höhenkurven für das Gebiet von Langenthal detaillierter in Figur 6.1 dargestellt. In Beilage II sind ebenfalls die Sondierungen angegeben, die den Grundwasserstauer erreichen, so dass beurteilt werden kann, wie gut die jeweiligen Isohypsen belegt sind. Soweit es aus Platzgründen möglich war, wurden bei den Sondierungen die dazugehörigen Stauerkoten angeschrieben. Es fällt auf, dass insbesondere zwischen Kleindietwil und Gutenburg, sowie im Bleienbachtal nur wenige Staueraufschlüsse vorliegen, die angegebene Stauerooberfäche also nicht besonders gut abgesichert ist.

Im Mittleren Langetental, zwischen Kleindietwil und Langenthal, verläuft die Staueroberfläche (abgesehen von der Bleienbachrinne) generell mehr oder weniger parallel zur Terrainoberfläche, weist talabwärts ein mittleres Gefälle von ca. 1% auf, entspricht der Molasseoberfläche (mehrheitlich Molassefels, untergeordnet Verwitterungsprodukte der Molasse) und liegt grösstenteils weniger als 10 Meter unter Terrain. Einzig unterhalb Lotzwil wurde der Grundwasserstauer mit zwei Bohrungen (LOB07, 626.227/2: 12.6 m, LOB04, 626.227/14: 15.6 m) tiefer als 10 m UK Terrain erbohrt. Damit kann eine Rinne Richtung Porzellanfabrik Langenthal postuliert werden, deren Verlauf und Tiefe sich jedoch mit den zur

Verfügung stehenden Sondierungen nicht vollständig beurteilen lässt, aber auch in Richtung Lotzwil (LOB20, 626.226/35: 9.4 m) abzeichnet.

Im Bleienbachtal liegt die Stauerfläche bedeutend tiefer als im Mittleren Langetental, vgl. [3]. Der Grundwasserleiter liegt in einer schmalen, tiefen Rinne der sog. Bleienbachrinne, die im Bereich der Porzellanfabrik Langenthal nach Norden abdreht und sich bis ins Langenthalerbecken verfolgen lässt.

Im Gebiet von Langenthal sind die Verhältnisse komplex: Der relativ hoch, nur wenige Meter unter Terrain liegende Grundwasserstauer des Mittleren Langetentals fällt einerseits im südwestlichen Teil von Langenthal in die Bleienbachrinne ab, zieht andrerseits unter dem Ostteil von Langenthal hindurch und fällt ungefähr auf der Linie Bahnhof Langenthal, Im Löli (ARA Langenthal), Bruel relativ steil mit einem Gefälle von mehreren Prozenten ins Langenthalerbecken ab. Er besteht grösstenteils aus fester Molasse, untergeordnet aus deren Verwitterungsprodukten.

Die Bleienbachrinne weist im Bereich von Langenthal eine Breite von ca. 300 m und ungefähr ein Gefälle von 5 % gegen das Langenthalerbecken auf. Die Stauoberfläche liegt in der Rinne bis 35 m unter Terrain d.h. bis zu ca. 30 m tiefer als im östlich angrenzenden Teil von Langenthal. Sie wird teilweise durch Reste der auch im Bleienbachtal [3] vorhandenen Grundmoräne gebildet.

Als Langenthalerbecken wird der Grundwasserleiter zwischen Bützberg und Roggwil definiert. Von Bützberg bis und mit Oberhard besteht der Grundwasserstauer mehrheitlich aus über der Molasse liegenden Stillwasserablagerungen, am Westrand bei Bützberg auch aus einer Grundmoräne. Im übrigen Gebiet des Langenthalerbeckens dominiert Molassefels als Stauer, untergeordnet treten jedoch auch Grundmoräne und Stillwasserablagerungen auf. Die Staueroberfläche weist von Bützberg Richtung Roggwil ein geringes Gefälle von ca. 3 °/oo auf. Im Nordwesten von Roggwil fällt sie in einer steilen Gefällsstufe (bis zu 10 %) nach Mangen, Roggwil, ab. Im Bereich von Bützberg, im Hardwald, in der Roggwiler-Terrasse ab Kaltenherberg bis Roggwil, liegt der Stauer hauptsächlich ca. 20 m, in der Brunnmatt und der erwähnten Gefällsstufe bei Roggwil lediglich 1 bis 3 m unter Terrain.

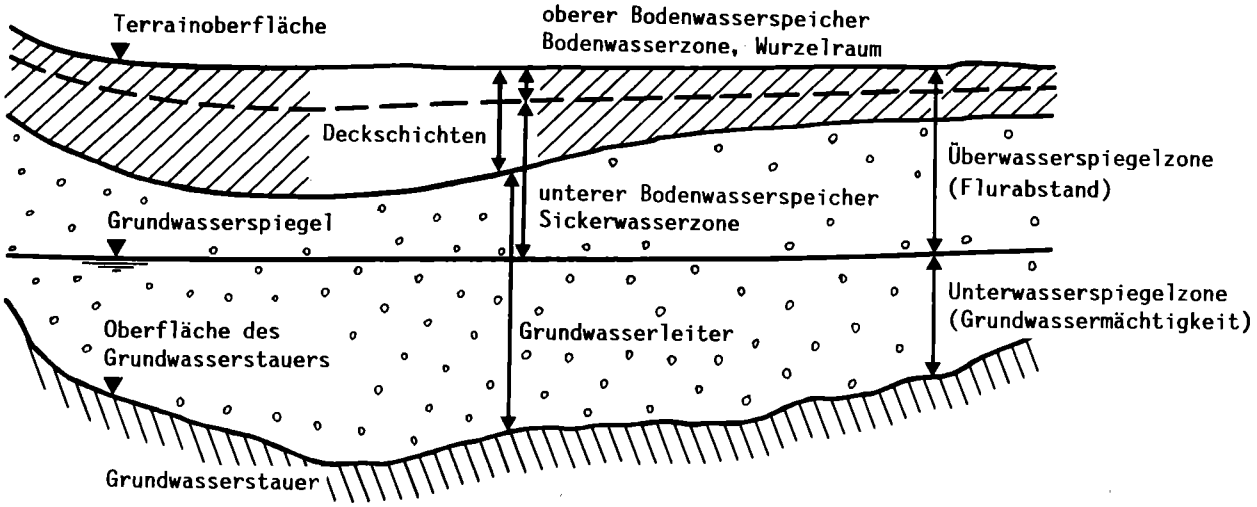
2.3 Deckschichten und Grundwasserleiter

Als Grundwasserleiter wirken die über dem Grundwasserstauer anstehenden, gut durchlässigen Schotter. Zwischen der Terrainoberfläche und dem Grundwasserstauer liegen die Über- und die Unterwasserspiegelzone, welche durch den Grundwasserspiegel getrennt werden, der seitlich an den Grundwasserstauer grenzt. Die Mächtigkeit der Ueberwasserspiegelzone wird als Flurabstand, diejenige der Unterwasserspiegelzone, in der Grundwasser strömt, als Grundwassermächtigkeit bezeichnet.

Die unmittelbar unter der Terrainoberfläche liegende Bodenwasserzone entspricht dem von der Vegetation durchwurzelten Bereich und weist ungefähr eine Mächtigkeit von 1 m auf. Im Zusammenhang mit der Speicherung der Niederschläge wird sie als oberer Bodenwasserspeicher bezeichnet. Deckschichten werden die feinkörnigen, oberflächennahen Bodenschichten genannt, die über dem gut durchlässigen Schotter liegen. In sie eingeschlossen wird meistens auch die Bodenwasserzone. Die Sickerwasserzone (= unterer Bodenwasserspeicher) entspricht dem Bereich unter der Bodenwasserzone bis zum Grundwasserspiegel.

Figur 2.2 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lockergesteins-Grundwasservorkommen und die kurz beschriebenen Begriffe.

Fig. 2.2: Schematischer Schnitt durch ein Lockergesteins- Grundwasservorkommen



Die oberflächennahen feinkörnigen und daher schlecht durchlässigen Deckschichten können den vertikalen Eintrag von Schadstoffen von der Oberfläche ins Grundwasser teilweise verhindern oder zeitlich verzögern und dämpfen.

Im Bereich des untersuchten Grundwasserstroms ist ihre Mächtigkeit, abgesehen vom Gebiet Allmend, Bleienbach, und den Talrändern grösstenteils relativ klein und beträgt lediglich ca. 0.5 bis 3 m. Im überbauten Gebiet sind die Deckschichten mehrheitlich abgetragen und teilweise durch künstliche Auffüllungen ersetzt worden. Der Schutz des Grundwassers vor einem vertikalen Schadstoffeintrag ist somit grösstenteils gering.

Im Gebiet Allmend betragen die Deckschichten bis zu 15 m. Sie setzen sich zusammen aus einer wenige Dezimeter mächtigen Humusschicht, einer ca. 2 m hohen Torflage und den darunter liegenden Verlandungssedimenten. Ihre Schutzfunktion ist dementsprechend besser.

In Bützberg, im Bereich des Industriegebietes, wird der Schotterkörper zwischen ca. 7 und 11 m unter der Terrainoberfläche durch eine wenige Meter mächtige Stillwasserablagerung durchzogen, die für das darunter liegende Hauptgrundwasservorkommen eine ähnliche Funktion ausübt wie eine Deckschicht. Zusätzlich wirkt diese Stillwasserablagerung teilweise als Grundwasserstauer eines oberen, lokal eng begrenzten Grundwasservorkommens [12,13,14].

Der Lockergesteins-Grundwasserleiter im Langetental, besteht lithologisch gesehen, generell aus sandigen Kiesen mit mehr oder weniger Feinanteilen und Steinen, genetisch gesehen aus Schotter. Er ist ausgesprochen uneinheitlich (heterogen) aufgebaut. Sowohl horizontal wie vertikal betrachtet, folgen in der Regel auf praktisch saubere Kiesschichten immer wieder Schichten mit viel Feinsand und hohem Siltgehalt. Wie die Bohraufschlüsse zeigen, ist die Mächtigkeit der Schichten unregelmässig und variiert normalerweise zwischen einigen Dezimetern bis Metern. Die seitliche Ausdehnung der Schichten oder vielmehr Linsen dürfte einige bis mehrere Meter betragen und einen blätterteigartigen Aufbau bewirken.

Der Grundwasserleiter zwischen Kleindietwil und Roggwil ist ca. 13 km lang und weist eine Gesamtfläche von ca. 20 km^2 auf. Seine Breite variiert von ca. 0.5 bis 2.5 km: Zwischen Kleindietwil bis südlich von Langenthal beträgt sie im Mittel ca. 0.8 km, von der Einmündung der Bleienbachrinne bis zum Langenthalerbecken ca. 1.2 km, im Bereich des Langenthalerbeckens maximal ca. 2.5 km.

Seitlich münden verschiedene kleine Grundwasservorkommen in den Hauptgrundwasserleiter ein, die lediglich eine untergeordnete Rolle spielen und vom Bleienbachtal abgesehen, nicht erforscht sind. Auch der Zufluss aus dem Grundwasserleiter des Bleienbachtals ist, wie in Kapitel 4 gezeigt wird, von untergeordneter Bedeutung. Bei Vorstadt, Aarwangen, führt eine schmale Rinne etwas Grundwasser Richtung Aarwangen ab; sie ist für regionale Betrachtungen ebenfalls bedeutungslos. Nördlich von Roggwil, bevor sich der untersuchte Hauptgrundwasserleiter zu einer schmalen Rinne verengt, die entlang der Murg Richtung Murgenthal verläuft, mündet seitlich noch der Grundwasserleiter aus dem Rottal ein.

2.4 Geologische Querprofile

Detaillierte geologische Angaben über die generell beschriebenen Stauer-, Deckschicht- und Grundwasserleiterverhältnisse werden im folgenden für 4 Querprofile gegeben und sind aus den Profilkonstruktionen in Beilage III ersichtlich.

Die Achsen der Querprofile wurden nach hydrogeologischen Gesichtspunkten ausgewählt. Die Profile Lotzwil, Langenthal und Kaltenherberg fallen mehr oder weniger mit Bilanzierungsprofilen zusammen (vgl. Abschnitt 6.2.3). Die geologischen Angaben basieren auf den Bohrungen bis maximal 200 m neben den Profillinien, der Isohypsenkarte des Stauers und des Grundwasserspiegels (vgl. Beilage II), dem bestehenden geologischen Kartenmaterial.

Die chronostratigraphische Zuordnung, die in den vier Querprofilen verwendet wird, stützt sich auf den geologischen Atlas der Schweiz, 1:25000, Blatt 1128, Langenthal.

Geologisches Profil I: Lotzwil

Das Profil I wurde aufgrund der Interpretation der Bohrungen LOB20 (626.226/35), LOB21 (626.226/13), LOB01 (626.227/1) und der Grundwasserfassungen LOF01 (626.226/1) und LOF02 (626.226/2) konstruiert. Ueber den miozänen Sandsteinen (Molasse), welche hier den Stauer bilden, folgt bis zu der geringmächtigen Deckschicht (a) eine 4 m bis 8 m mächtige Schotterlage, Würmschotter i.a. (q4s). Sie bestehen aus sandigen, leicht siltigen, stellenweise auch sauberen Kiesen und führen vereinzelte Steine mit Durchmessern bis maximal 19 cm.

Am Westende des Profils steigt der Molassefels steil auf und ist von geringmächtigem Gehängeschutt bzw. -Lehm (gs/l) bedeckt. Darüber folgt gegen Westen ein Molasseplateau, welches von einer bis 10 m mächtigen Moräne der Würmeiszeit (q4m) überlagert ist. An der östlichen Talseite bildet ein kleiner pleistozäner Bachschuttkegel den östlichen Abschluss des Profils.

Geologisches Profil II: Langenthal

Die geologischen Verhältnisse im Profilbereich sowie der Verlauf der überwiegend als Stauer dienenden Molasseoberfläche sind aus den Bohrungen LTB21 (625.228/7), LTB22 (626.229/50), LTB23 (625.228/8) und LTMB2 (626.229/38) bekannt.

Am Westrand des Profils ist eine glaziale Entwässerungsrinne ausgebildet, welche das Bleienbachtal mit dem Langenthalerbecken verbindet. In ihr bildet eine risseiszeitliche Grundmoräne (q3m) die Basis der Quartärablagerungen. Sie staut hier das Grundwasser. Darüber folgen sowohl in der Rinne (über 30 m mächtig) als auch im geringmächtigeren (bis maximal 14 m) Teil des Grundwasserleiters sehr heterogen aufgebaute Schotter (q4s), die analog dem Querprofil I als Würmschotter i.a. bezeichnet werden. Sie bestehen aus sandigen bis stark sandigen, vorwiegend siltigen Kiesen und führen vereinzelte bis zahlreiche Steine mit Durchmessern bis maximal 15 cm.

Analog zu Querprofil I, Lotzwil, steigt auch hier am Westrand die Molasse steil auf und ist am Fusse von geringmächtigem holozänem Gehängeschutt bedeckt. Darüber flacht die Molasseoberfläche schnell ab und bildet die Unterlage für eine bis über 10 m mächtige würmeiszeitliche Moräne (q4m). Am Ostrand bilden risseiszeitliche Moränen (q3m) und Hochterrassen-Schotter (q3s) den Abschluss des Profils.

Geologisches Profil III: Tannwäldli

Dieses Profil zeigt, wie heterogen die Quartärablagerungen im Langenthalerbecken aufgebaut sein können. Die Molasseoberfläche ist im Bereich der Profillinie nur durch drei Bohrungen (623.229/16, 624.229/69, 624.229/8) bestimmt und dementsprechend unsicher belegt. Ueber ihr folgen mächtige risseiszeitliche Moränen (q3m) und interglaziale feinkörnige Löss- und Seeablagerungen (q3-4l). Sie bilden in diesem Teil des Langenthalerbeckens überwiegend die Stauerobefläche.

Der Grundwasserleiter besteht bis zu einer unterschiedlich mächtigen siltig-sandigen Deckschicht (a) aus einem heterogen ausgebildeten Schotter (q4s). Ueberwiegend handelt es sich dabei um Kies, der sandig bis stark sandig, unterschiedlich siltig, stellenweise aber auch sauber sein kann und nur vereinzelt Steine mit Durchmessern bis maximal 16 cm enthält.

Eingeschaltet in diesen Kieskörper finden sich (q4t) linsenförmig ausgebildete Stillwasserablagerungen (tonig-siltige Sande mit Kies und Steinen und sandige bis stark sandige Silte) und randlich verschwemmte (Grund-) Moränenrelikte (Westrand). Sie bilden lokale Stauschichten für höhere Grundwasservorkommen.

Geologisches Profil IV: Kaltenherberg

Die Bohrprofile der Bohrung ABB21 (625.230/23), ROB01 (627.231/8), LTB31 (626.231/24) und einer im Jahre 1990 abgetieften Bohrung (626.231/29) wurden zur Konstruktion dieses Profils verwendet. Ueber der Molasse folgen lokal oft geringmächtige interglaziale Löss- und Seeablagerungen (q3-4l). Sie füllen vor allem die tiefsten Bereiche aus und wirken neben der Molasseoberfläche als Grundwasserstauer. Etwa in der Mitte des Profils ist eine aus Molassefels bestehende Rippe ausgebildet. Ihre Höhe beträgt im Profil ca. 3.5 m und sie wirkt hier als Grundwasserstauer und teilt den Grundwasserleiter in zwei schwach akzentuierte Rinnen.

Bis zu einer unterschiedlich mächtigen sandig-siltigen Deckschicht (a) folgt über den Stillwasserablagerungen und der Molasserippe ein Schotterkörper (q4s), der vorwiegend aus sandigem leicht siltigem Kies besteht und vereinzelte Steine mit Durchmessern bis 18 cm enthält.

In den oberen Dritteln dieses Kieskörpers ist eine bis 3 m mächtige und bis ca. 800 m breite Linse aus Stillwasserablagerungen (q4t) eingebettet. Sie besteht hauptsächlich aus siltigen, stellenweise kompakt gelagerten Feinsanden mit 1-2 cm grossen Geröllen. Es ist möglich, dass diese Linse, wenn auch nur zeitweise nach Niederschlägen, eine (lokale) Stauschicht für ein oberes Grundwasservorkommen bilden kann. An beiden Rändern steigt der Molassefels steil auf und wird durch geringmächtigen Gehängeschutt und Gehängelehm (qs/l) bedeckt.

2.5 Hydrologische Kennziffern

Hydrologische Kennziffern sind Zahlenwerte mit deren Hilfe hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters beschrieben werden können.

Für die Berechnung der Grundwassermengen, welche im Grundwasserleiter fliessen, müssen neben der Geometrie des Grundwasserleiters die beiden Hydrologischen Kennziffern Durchlässigkeitsbeiwert und Speicherkoeffizient bekannt sein. Bei Stofftransportvorgängen im Grundwasser interessieren zusätzlich die durchflusswirksame Porosität, der Dispersionskoeffizient bzw. die Dispersivität und gegebenenfalls die Retardationskoeffizienten für die entsprechenden Stoffe. Bei Temperaturbetrachtungen im Grundwasserleiter oder thermischer Nutzung des Grundwasser müssen zusätzlich noch die thermischen Kennziffern, wie beispielsweise die spezifische Wärmekapazität des Grundwasserleiters in der Unter- und Überwasserspiegelzone, bekannt sein.

In unseren Untersuchungen standen Grundwassermengen im Vordergrund. Deshalb wurden in erster Linie Durchlässigkeitsbeiwerte und Speicherkoeffiziente ermittelt, die durchflusswirksame Porosität abgeschätzt, auf die Erhebung weiterer Transportparameter [30,32,33] jedoch verzichtet.

2.5.1 Durchlässigkeitsbeiwert (k-Wert)

Der Durchlässigkeitsbeiwert bzw. der k-Wert ist das Mass für die Wasserdurchlässigkeit des Grundwasserleiters. Er entspricht der Grundwassermenge, welche pro Zeiteinheit [m^3/s] durch die Fläche von 1 m^2 des Grundwasserleiters bei einem hydraulischen Gefälle von 1 fliesst und hat damit die Dimension m/s bzw. mm/s.

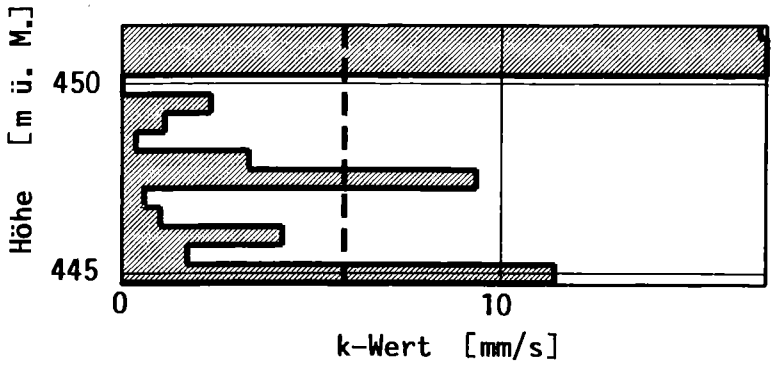
Einen umfassenden und relativ kostengünstigen Überblick über die Durchlässigkeitsverhältnisse in einem Grundwasserleiter kann mit Kleinpumpversuchen in verfilterten Aufschlussbohrungen, wenn möglich kombiniert mit Flowmetermessungen, gewonnen werden. Kleinpumpversuche allein sind höchstens bei kleinen Grundwassermächtigkeiten zulässig, wo sie noch einigermassen zuverlässig den sog. Profil-k-Wert ergeben, der die mittlere horizontale Durchlässigkeit für die aktuelle Grundwassermächtigkeit charakterisiert. Mit der bewährten Versuchsmethode, welche im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Wasserhaushalt und der WEA-Untersuchungen im Unteren Emmental [2,27] entwickelt wurde, werden Kleinpumpversuche mit Flowmetermessungen kombiniert. Dies erlaubt die Profil-k-Werte auch bei grossen Grundwassermächtigkeiten zuverlässig sowie neu sog. Bereichs-k-Werte zu bestimmen, welche die vertikale Verteilung der horizontalen Durchlässigkeit aufzeigen.

In Figur 2.3 sind als Beispiel Profil-k-Wert und Bereichs-k-Werte für die Bohrung AAB21 (625.230/39), in Oberhard, Aarwangen, dargestellt.

Der Profil-k-Wert, der identisch ist mit dem Mittelwert der Bereichs-k-Werte, beträgt bei dieser Bohrung 5.9 mm/s. Die Bereichs-k-Werte, welche hier für Schichtmächtigkeiten von jeweils 0.5 m gelten, liegen zwischen 0.12 und 17.0 mm/s und veranschaulichen die höhenmässig betrachtet, grossen Unterschiede der horizontalen Durchlässigkeit, bzw. den heterogenen Aufbau des Grundwasserleiters. Der Profil-k-Wert ist somit von der jeweiligen Lage des Grundwasserspie-

gels abhängig. Tiefe Grundwasserstände ergeben nicht den gleichen Profil-k-Wert wie hohe.

Fig. 2.3: Profil- und Bereichs-k-Werte der Aufschlussbohrung AAB21



Kleinpumpversuche kombiniert mit Flowmetermessungen sind, abgesehen von Standorten mit einer geringmächtigen Unterwasserspiegelzone (< ≈ 3 m), in den Filterrohren sämtlicher von uns seit 1984 veranlassten und, sofern es der Filterausbau zuliess, auch in den früher erstellten Aufschlussbohrungen vorgenommen worden. Dabei wurden in 27 Bohrungen total 288 Bereichs-k-Werte und der Profil-Wert ermittelt. Die Bereichs-k-Werte beziehen sich grösstenteils auf Schichtmächtigkeiten von 0.5 m.

In den neuen Bohrungen, deren Mächtigkeit der Unterwasserspiegelzone zwischen ca. 3 m und 1 m lag und damit keine Flowmetermessungen zuliess, wurden die Profil-k-Werte einzig mit Kleinpumpversuchen abgeschätzt. Die aus früheren Kleinpumpversuchen bekannten Profil-k-Werte, bei denen die Versuchsgrundlagen relativ zuverlässig erschien, sind generell ebenfalls in die Durchlässigkeitsbetrachtungen einbezogen worden.

Figur 2.4 gibt lagemässig eine Uebersicht über die wichtigsten Profil-k-Werte im Untersuchungsgebiet. In Tabelle 2.2 werden die Resultate der massgebenden Kleinpumpversuche für die 27 Bohrungen mit und die 15 Bohrungen ohne Flowmetermessungen zusammen mit der Mächtigkeit der erschlossenen Unterwasserspiegelzone am Versuchstag angegeben. Zusätzlich werden die Extrema der Bereichs-k-Werte und als Mass für die Streuung die Varianz ihrer Logarithmen aufgeführt. Als Minima werden die kleinsten noch berechenbare Werte angegeben. In Natur können sie selbstverständlich noch unterschritten werden.

Die grossen Unterschiede der k-Werte bezüglich Bohrstandort und Versuchstiefe (Bereich) bestätigen den stark heterogenen Aufbau des Grundwasserleiters. Die Profil-k-Werte schwanken zwischen 0.05 und 101.1 mm/s, die Bereichs-k-Werte zwischen <0.01 und 183.4 mm/s.

Einen Überblick über die Anzahl der Profil- und Bereichs-k-Werte innerhalb 5 Zehnerpotenzen (im halblogarithmischen Massstab) vermittelt Figur 2.5. Die Häufigkeit der k-Werte zwischen 1.0 und 10.0 mm/s ist am grössten.

Tab. 2.2: Zusammenstellung der wichtigsten Resultate aus den Kleinpumpversuchen und Flowmetermessungen

Feldbezeichnung	WEA-Nummer	Koordinaten Y [m]	Koordinaten X [m]	Mächtigkeit [m]	Profil-k-Wert [mm/s]	Bereichs-k-Wert maxi. [mm/s]	Bereichs-k-Wert min. [mm/s]	Varianz von ln(k) [-]
LOB07	626.227/2	626'520	227'280	4.49	5.5	9.7	≤ 0.05	2.72
LOB20	626.226/35	626'502	226'827	4.06	7.9	18.1	≤ 0.11	5.73
LOB21	626.226/13	626'474	226'073	3.91	1.2	3.1	≤ 0.01	5.95
LTB04	626.227/14	626'325	227'800	4.18	3.1	10.6	≤ 0.05	4.61
LTB08	626.231/18	626'770	231'470	3.92	0.6	1.9	≤ 0.05	2.42
LTB20	626.228/3	626'030	228'060	8.32	2.6	6.4	0.03	4.24
LTB21	625.228/7	625'915	228'985	17.18	3.3	9.7	≤ 0.05	4.15
LTB24	625.230/40	625'820	230'600	10.19	10.7	44.8	≤ 0.05	2.58
LTB25	625.229/35	625'665	229'800	11.90	2.7	18.4	≤ 0.10	2.93
LTB26	624.229/61	624'934	229'862	5.83	2.4	5.9	0.38	1.18
LTB27	625.230/38	625'468	230'332	8.55	8.2	40.1	≤ 0.20	3.97
LTB28	624.230/16	624'977	230'249	6.74	21.3	68.3	≤ 0.35	5.04
LTB29	626.228/4	626'781	228'235	2.91	3.3	10.0	≤ 0.04	4.34
LTB31	626.231/24	626'510	231'545	6.28	26.4	132.8	≤ 0.50	3.42
LTGB3	625.230/34	625'515	230'032	6.51	14.2	156.5	0.36	2.43
LTGB4	625.229/26	625'455	229'985	6.88	7.4	66.6	≤ 0.05	2.57
THB11	624.229/52	624'200	229'275	7.04	31.3	135.5	≤ 0.10	4.60
THB13	624.229/53	624'320	229'420	4.66	12.9	50.1	≤ 0.10	4.15
THB15	624.229/63	624'143	229'408	4.77	2.4	7.3	≤ 0.06	4.38
THB16	623.229/11	623'809	229'198	5.46	7.2	86.8	≤ 0.16	4.49
AAB16	625.231/19	625'296	231'532	4.68	8.2	22.3	≤ 0.05	8.95
AAB21	625.230/39	625'190	230'605	6.88	5.9	17.0	≤ 0.12	2.01
AAB22	626.231/23	626'170	231'835	9.01	22.8	93.6	≤ 0.42	3.15
ROB01	627.231/8	627'270	231'540	3.05	101.1	183.4	≤ 0.05	2.02
ROB02	627.231/2	627'130	231'910	4.12	1.0	2.3	≤ 0.05	1.73
ROB51	627.232/40	627'945	232'060	5.22	0.8	1.6	≤ 0.05	0.44
ROB53	628.232/5	628'250	232'485	3.99	9.0	63.6	≤ 0.05	7.62
LOB01	626.226/27	626'750	226'650	3.8	≈ 0.7			
LOB02	626.225/9	626'550	225'310	4.2	≈ 1.0			
LOB04	626.227/13	626'560	227'620	2.9	≈ 1.3			
LOB05	626.227/11	626'900	227'450	1.3	≈ 1.4			
LOB06	626.227/12	626'675	227'500	2.9	≈ 1.0			
LTFB1	626.228/5	626'640	228'300	1.9	≈ 0.2			
LKB01	626.229/27	626'630	229'052	2.7	≈ 2.6			
LKB02	626.229/28	626'652	229'066	2.0	≈ 2.1			
LTTB1	626.229/32	626'705	229'130	1.9	≈ 1.0			
LTTB2	626.229/33	626'690	229'170	1.1	≈ 1.2			
LTB03	625.227/3	625'615	227'760	>16.0	≈ 1.3			
LTB30	627.231/4	627'075	232'215	0.6	≈ 3.0			
LTKB2	625.229/28	625'860	229'610	5.9	≈ 2.5			
BLBF1	624.226/1	624'235	226'600	>13.6	≈ 2.1			
THB18	623.229/10	623'227	229'260	2.9	≈ 1.0			

Fig. 2.4: Situationsplan mit den Profil-k-Werten

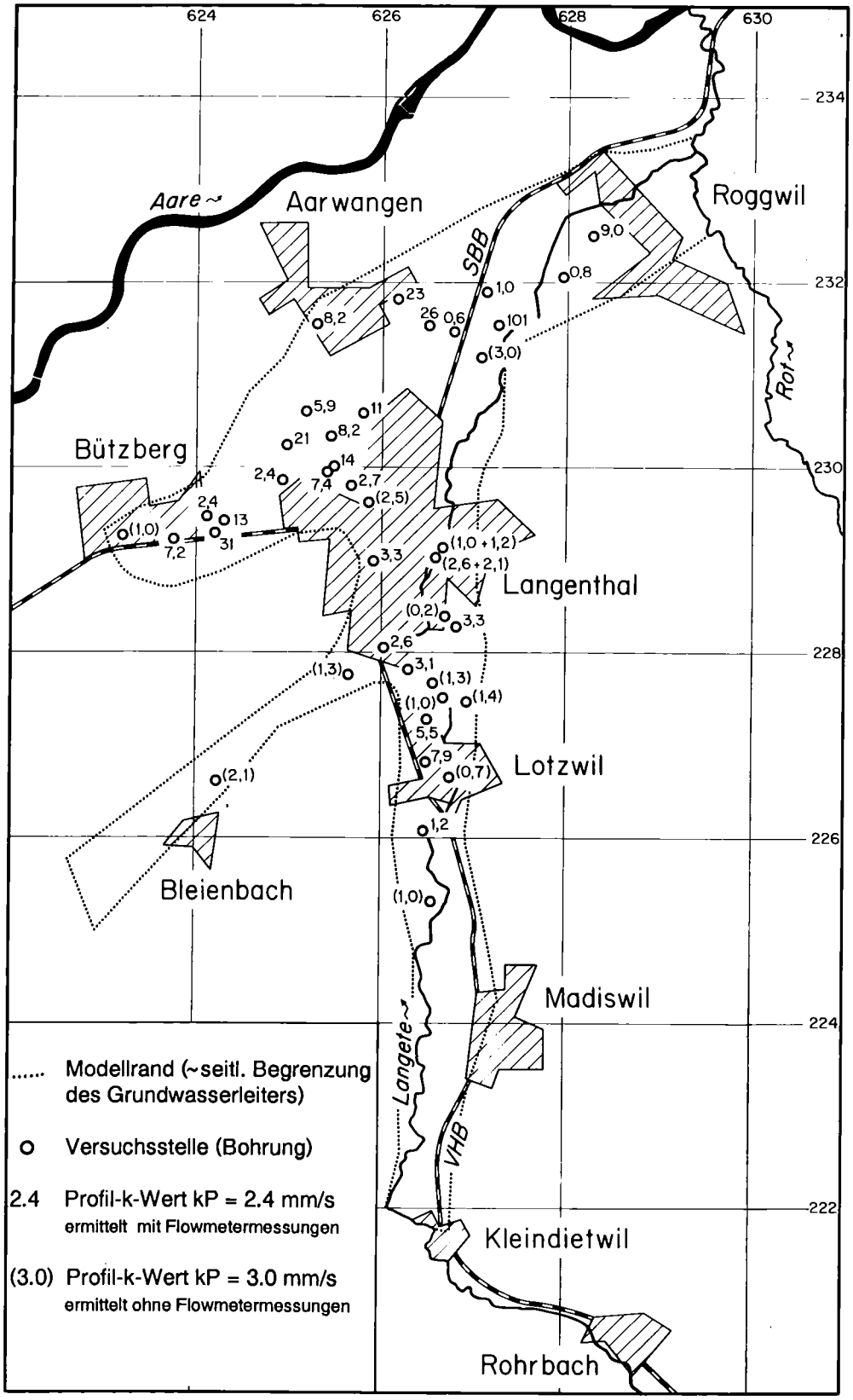
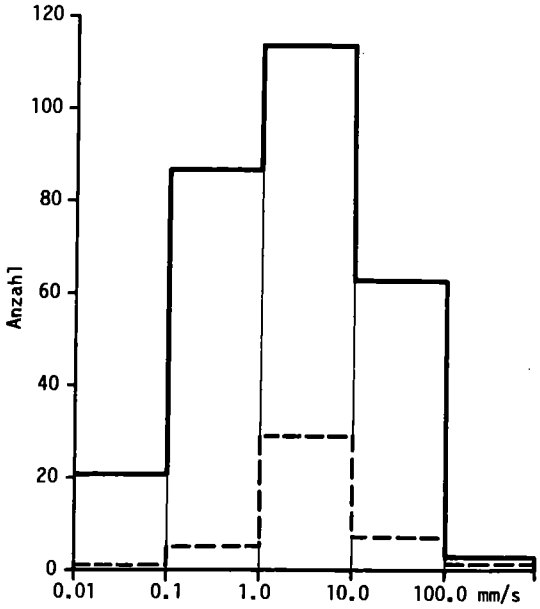


Fig. 2.5: Häufigkeitsverteilung der Profil-k-Werte (unten) und Bereichs-k-Werte (oben)



Bereichs-k-Werte bilden auch eine wichtige Grundlage für geostatistische Auswertungen, mit denen bei einer relativ grossen Anzahl von Bohrungen Hinweise über die grossräumigen horizontalen und vertikalen Durchlässigkeitsverhältnisse und über die Dispersivität gewonnen werden können [30,31]. Dafür sollten die Bohrungen jedoch räumlich speziell angeordnet sein. Für das Untersuchungsgebiet treffen die erforderlichen Voraussetzungen nur sehr beschränkt zu, so dass die mittleren gebietsspezifischen Durchlässigkeitsverhältnisse nur näherungsweise ermittelt werden konnten.

Der k-Wert ist in Grundwasserleitern im allgemeinen eine gerichtete Grösse (Tensor). Üblicherweise wird unterschieden zwischen der Durchlässigkeit in horizontaler und in vertikaler Richtung. Der vertikale k-Wert ist eine bis drei Zehnerpotenzen kleiner als der horizontale.

Im folgenden werden für verschiedene Gebiete die mittleren k-Werte angegeben. Bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt sind die Durchlässigkeitsverhältnisse in den Randzonen des Grundwasserleiters, wo praktisch keine Versuchsresultate vorliegen. Erfahrungsgemäss sind die randlichen k-Werte eher kleiner als die angegebenen Mittelwerte.

Zwischen Kleindietwil und Madiswil liegen keine Versuchsresultate vor. Die mittleren horizontalen k-Werte können nur indirekt über den Grundwasserfluss berechnet werden. Die zuverlässigsten Angaben liefert dabei das numerischen Grundwassermodell Langetental (vgl. Abschnitt 5.2). Die mit dem Modell berechneten k-Werte ergeben im Mittel 2 mm/s.

Zwischen Madiswil und Langenthal liegt westlich der Langete der durchlässigste Bereich mit einem mittleren horizontalen k-Wert von ca. 4 mm/s. Östlich der Langete, insbesondere auch im Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil, sind die k-Werte

kleiner, der Mittelwert beträgt etwa 1 mm/s. Der mittlere vertikale k-Wert ist ungefähr 50 mal kleiner als der horizontale.

Im Bleienbachtal und in der Bleienbachrinne bei Langenthal beträgt der mittlere horizontale k-Wert ca. 2.5 mm/s. Der mittlere vertikale k-Wert ist auch hier etwa 50 mal kleiner als der horizontale.

Im Gebiet von Langenthal dürfte im Bereich mit den kleinen Grundwassermächtigkeiten der mittlere horizontale k-Wert ungefähr 1 mm/s betragen und der vertikale k-Wert ca. 50 mal kleiner sein.

Im Langenthalerbecken sind die k-Werte am grössten. Zwischen Bützberg und Mumenthal/Kaltenherberg liegt der mittlere horizontale k-Wert zwischen 10 und 15 mm/s, der vertikale zwischen 0.1 und 0.5 mm/s. In der Roggwiler-Terrasse deutet die relativ kleine Informationsdichte über die Durchlässigkeitsverhältnisse auf einen mittleren horizontalen k-Wert von ca. 5 mm/s und einen vertikalen k-Wert von ungefähr 0.2 mm/s.

2.5.2 Speicherkoeffizient

Der Speicherkoeffizient S dient zur Beschreibung des Speichervermögens eines Grundwasserleiters. Ein Speicherkoeffizient von 0.10 oder 10% bedeutet beispielsweise, dass aus einem Kubikmeter Grundwasserleiter 0.10 m^3 oder 100 l Wasser (mit Hilfe der Schwerkraft) gewonnen werden können.

Der Speicherkoeffizient ist wie der k-Wert, jedoch in bedeutend geringerem Masse, ebenfalls eine ortsabhängige Grösse. Er kann aus Grosspumpversuchsdaten oder mit Hilfe von Entwässerungskurven direkt ermittelt werden. Als indirekte Methode bietet ein Grundwassermodell die umfassendste Berechnungsmöglichkeit [2].

Die Speicherkoeffiziente im Untersuchungsgebiet wurde mit dem Grundwassermodell indirekt bestimmt. Bei einem Mittelwert von 0.09 variieren sie zwischen 0.05 und 0.12. Ähnlich wie bei den hydrogeologischen Untersuchungen im Emmental [2] zeigt sich auch hier ein stochastischer Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit und Speicherkoeffizient: Für horizontale k-Werte im Bereich von 2 mm/s ergeben sich S-Werte von ca. 0.08, für k-Werte von ca. 5 mm/s betragen die S-Werte ca. 0.10 und für k-Werte im Bereich von 10 bis 15 mm/s ca. 0.12. Die räumliche Verteilung der S-Werte ergibt deshalb ein ähnliches Bild wie diejenige der k-Werte.

2.5.3 Durchflusswirksame Porosität

Die durchflusswirksame Porosität n_f muss für die Berechnung der mittleren Fliessgeschwindigkeit in einem Grundwasserstrom bekannt sein. Sie kann entweder mit Markierversuchen oder mit numerischen Stofftransportmodellen ermittelt werden. Sie ist grösser als der Speicherkoeffizient. Im Untersuchungsgebiet dürften die n_f-Werte erfahrungsgemäss zwischen ca. 0.10 und 0.20 betragen, wobei ähnlich wie beim Speicherkoeffizient ein stochastischer Zusammenhang mit den Durchlässigkeitsbeiwerten besteht.

3. HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE

3.1 Messstellennetz

Ein hydrologisches Messstellennetz besteht aus verschiedenen Messstellen-Typen, in denen die Hydrologischen Grundlagedaten wie Niederschlag, Grund- und Oberflächenwasserstände, Abflussmengen, chemische Parameter etc. mit Einzelmessungen oder kontinuierlichen Messungen erhoben werden.

Einzelmessungen zeigen einen momentanen Wert. Praktisch gleichzeitige Einzelmessungen im gesamten Messstellennetz oder einem Teil werden als Simultanmessung bezeichnet, welche erlaubt, die räumliche Verteilung und Abhängigkeit der Hydrologischen Grundlagedaten für einen bestimmten Zeitpunkt zu beschreiben.

Kontinuierliche Messungen zeigen die zeitliche Variabilität von punktuell erhobenen Messgrössen. Bei kleinen Zeitschritten können aus kontinuierlichen Messungen Tagesmittel oder Tagessummen gebildet werden. Für hydrologische Untersuchungen steht vor allem die kontinuierliche Registrierung von Grund- und Oberflächenwasserständen im Vordergrund. Für diese Aufzeichnungen werden hauptsächlich sog. Schreibpegel mit Schwimmervorrichtungen (Limnigraphen) installiert. Aus Kostengründen werden im allgemeinen Schreibpegel an relativ wenigen, signifikanten Messstandorten eingesetzt und der zeitliche Verlauf der Messgrössen lediglich mit periodischen Einzelmessungen mehr oder weniger gut erfasst. Messstellen, in welchen der Messwert kontinuierlich registriert wird, werden einzeln oft als Messstationen bezeichnet.

3.1.1 Messstellen-Typen

Die wichtigsten Messstellen-Typen, ihre Bezeichnung im Rahmen diese Berichts und die mit ihnen erfassten Messgrössen werden im folgenden kurz aufgeführt:

Meteorologie

Niederschlagsstation:	Messung des Niederschlags, entweder kontinuierlich (Pluviograph) oder in Tagessummen (Totalisator)
Klimastation:	Neben den Niederschlagsdaten werden zusätzliche Klimaparameter wie Luftdruck, Lufttemperatur, Dampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer etc. mehrheitlich kontinuierlich gemessen.

Oberflächengewässer

Wasserstands-Abstichpunkte:	Einzelmessung des Wasserspiegels von Oberflächengewässern
Abflussmengen-Messstellen:	Ausgewählte, messtechnisch geeignete Querprofile von Oberflächengewässern, in welchen die Abflussmengen vereinzelt gemessen werden.

Abflussmengen-Messstationen: Kontinuierliche Messung des Wasserspiegels und Einzelmessungen der Abflussmenge, damit mit Hilfe von sog. Pegel-Abflussbeziehung die Abflussmengen ebenfalls kontinuierlich berechnet werden können.

Physikalisch-chemische Messstellen: Die Entnahme von Wasserproben für chemische Analysen ist in schmalen Gewässern praktisch an jeder beliebigen Stelle möglich, konzentriert sich jedoch mehrheitlich an fest definierte Standorte, wo sich eine Wasserstands- oder Abflussmengen-Messstelle bzw. -station befindet.

Grundwasser

Piezometer: (Peilrohr) Messen der Grundwasserstände bzw. Standrohrspiegelhöhen [2] mit Einzelmessungen. Piezometer sind gerammte, in der Regel an der Basis gelochte Stahlrohre mit Durchmessern von mehrheitlich 3 bis 5 cm. Falls sich die gelochte Zone im Bereich des Grundwasserspiegels befindet, ergibt der Messwert den Grundwasserspiegel. Infolge des kleinen Durchmessers eignen sich Piezometer nur beschränkt für kontinuierliche Wasserstandsmessungen mit Schreibpegeln und zur Entnahme von Wasserproben (es kann keine leistungsfähige Unterwasserpumpe eingesetzt werden).

Bohrung und Grundwasserfassung: Messen der Grundwasserstände (bzw. Entnahmemengen) mit Einzelmessungen oder kontinuierlich mit Schreibpegeln in den Filterrohren von Bohrungen, Vertikal- und Schachtbrunnen (bzw. Grundwasserfassungen). Sofern sich die gelochte Zone über die ganze Grundwassermächtigkeit erstreckt, entspricht der gemessene Grundwasserstand in den meisten Fällen mit sehr guter Näherung dem sog. mittleren Potential d.h. dem Grundwasserstand, welcher für die über die Tiefe gemittelte Grundwasserströmung massgebend ist und mit horizontal-ebenen Grundwassermodellen berechnet wird [2]. Im Untersuchungsgebiet besteht praktisch kein Unterschied zwischen dem mittleren Potential und dem Grundwasserspiegel (bekannte Abweichung grösstenteils kleiner als 5 cm).

Physikalisch-chemische Messstellen: In die Filterrohre der Bohrungen lassen sich leistungsfähige Unterwasserpumpen einbauen, die die fachgerechte Entnahme von Wasserproben für die Analysen ermöglichen, wenn der Filterdurchmesser 4.5 Zoll, besser jedoch 6 Zoll aufweist. Vertikalfilter- und Schachtbrunnen, bzw. Grund- und Quellwasserfassungen sind ebenfalls geeignete Messstellen für Qualitätsuntersuchungen. Allfällige natürliche Druckunterschiede innerhalb des Grundwasserleiters bewirken in langen Filterrohren Vertikalströmungen, welche die Zuordnung und Interpretation der Analysenwerte erschweren [2]. Vertikalströmungen können ab einer gewissen Grösse mit Flowmetermessungen erfasst werden.

Quellwasser

Brunnstube: Messen der Quellschüttung und Entnahme von Wasserproben für chemische Analysen.

Die Quellschüttung wird in der Regel ein bis mehrmals pro Jahr gemessen, unter Umständen kann sie ähnlich wie bei den Abfluss-Messstationen kontinuierlich berechnet werden.

3.1.2 Umfang und Aufbau

Innerhalb des Untersuchungsgebiets und in seiner näheren Umgebung werden zum Teil bereits seit mehreren Jahrzehnten verschiedene Messstationen durch die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA), die Landeshydrologie, das Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA) und die öffentlichen Wasserversorgungen betreut. Diese Messstationen wurden auch während unserer Untersuchungsperiode von den erwähnten Institutionen betrieben, die erhobenen Daten konnten in unsere Auswertungen einbezogen werden.

Währenddem das bestehende Messstellennetz für die meteorologische Datenerfassung praktisch genügte, war die Messstellendichte an den Oberflächengewässern und im Grundwasser viel zu klein und musste ergänzt werden. Vorerst wurden die bereits vorhandenen Messstellen reaktiviert. Anschliessend erfolgte der Bau neuer Messstellen in einem iterativen Prozess aufgrund von laufenden Zwischenauswertungen.

Eine zeitintensive aber äusserst wichtige Arbeit beim Aufbau eines Messstellennetzes bildet die Aufnahme der Stammdaten wie Koordinaten und Ausbau. Die Stammdaten sind die Grundlage für die Hydrogeologische Datenbank [2]. Sie wurden daher parallel zur Erstellung des Messstellennetzes erhoben und abgespeichert.

In Beilage I sind die Standorte der meisten Messstellen und Messstationen ersichtlich: Aufschlussbohrungen, Schacht- und Filterbrunnen sind über den ganzen Grundwasserleiter verteilt, jedoch zum Teil recht unterschiedlich dicht. Sie konzentrieren sich vor allem auf das Gebiet von Langenthal und das Langenthalerbecken.

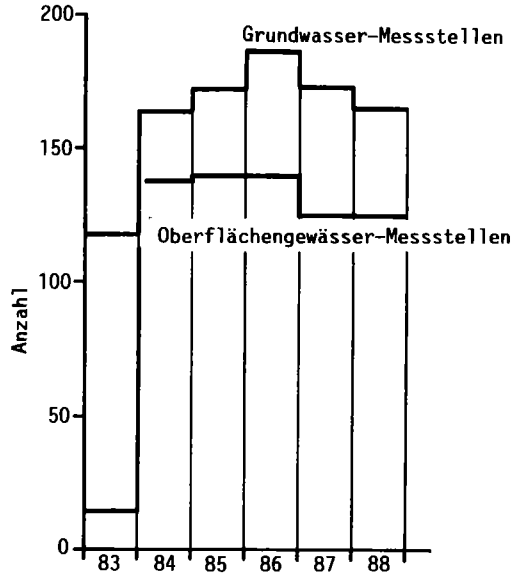
Piezometer können nur bis ca. 10 m unter Terrain gerammt werden. Sie können daher nur in Gebieten mit kleinem Flurabstand eingesezt werden, vor allem von Kleindietwil bis nordöstlich von Langenthal, in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange.

Die meisten Abstichpunkte an den Oberflächengewässern liegen entlang der Langete, jeweils ober- bzw. unterhalb der grösseren Schwellen. Weiter wurden Abstichpunkte an den Seitenbächen, mehrheitlich im Bereich, wo sie in die Talsohle einmünden, in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange sowie vereinzelte in den Wässerungsgebieten angebracht.

Abflussmessstellen befinden sich an der Langete, den Seitenbächen, den Zu- und Wegflusskanälen der Wässerungsgebiete, am Langete-Hochwasserentlastungskanal und in den Exfiltrationsgebieten. Sie sind so angeordnet worden, dass die In-

und die Exfiltration, die Grundwasserneubildung durch Wiesenwässerung und die Langete-Hochwasserversickerung erfasst werden können (vgl.Abschnitt 3.6).

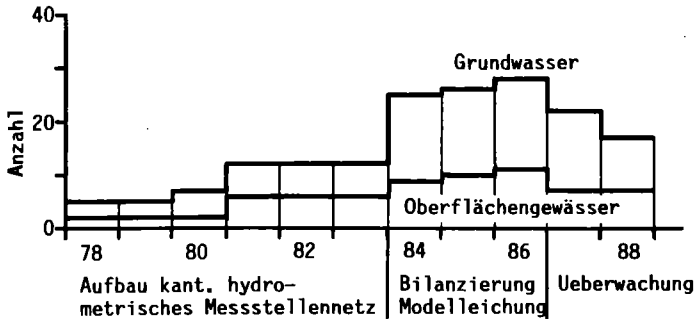
Fig. 3.1: Anzahl Grund- und Oberflächenwasser-Messstellen



Figur 3.1 gibt einen Überblick über den zeitlichen Aufbau und den Umfang des Grund- und Oberflächenwasser-Messstellennetzes. Im Endausbau standen über 300 Messstellen zur Verfügung (ca. 100 verfilterte Aufschlussbohrungen, 60 gerammte Piezometer, 20 Schacht- und Filterbrunnen, 100 Oberflächenwasser-Abstichpunkte und 40 Abflussmessstellen).

Ende 1983 wurden in 12 Grundwasser- und 6 Oberflächenwasser-Schreibpegelstationen die Wasserstände aufgezeichnet. Während unserer Untersuchungen kamen weitere 27 Schreibpegelstationen in Betrieb. Nach Abschluss der Untersuchungsarbeiten konnte, gestützt auf die gewonnenen Erkenntnisse, ihre Zahl reduziert werden. Im Rahmen der permanenten Überwachung des Grundwasservorkommens standen Ende 1988 noch 24 Schreibpegel im Einsatz (vgl. Figur 3.2).

Fig. 3.2: Anzahl Schreibpegel



3.2 Ermittlung der Hydrologischen Grundlagendaten

3.2.1 Niederschlag

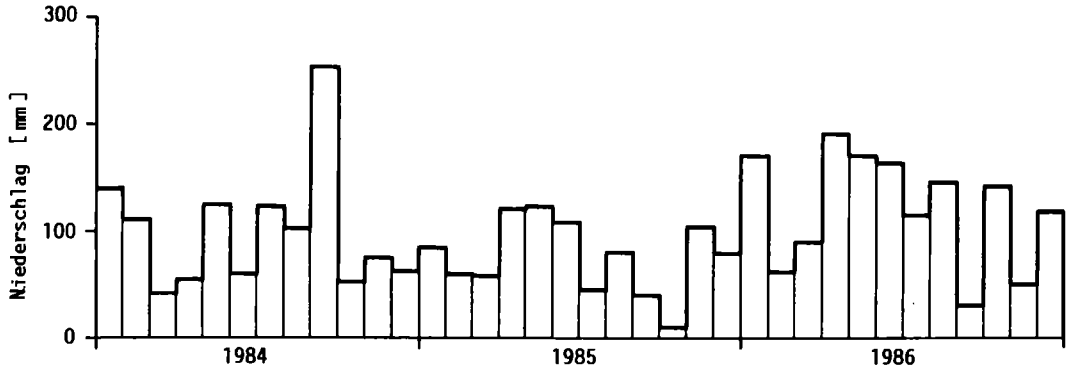
Die Messwerte der Niederschläge stammen von den drei SMA-Niederschlagsstationen Madiswil, Herzogenbuchsee und St.Urban, von den zwei SMA-Klimastationen Huttwil und Wynau sowie von der speziell errichteten WEA-Niederschlagsstation Kaltenherberg. Die Standortkoordinaten der Stationen sind aus Tabelle 3.1 ersichtlich. Die Messstationen Madiswil und Kaltenherberg befinden sich innerhalb des Einzugsgebiets, die übrigen knapp ausserhalb. Von sämtlichen Messstationen liegen die Niederschlagsdaten in Form von Tagessummen vor.

Bei allen Niederschlags-Messgeräten werden die Messungen durch Wind, Verdunstung, Benetzungsverluste, Rückpralleffekte usw. gestört. Die gemessenen Niederschläge sind deshalb systematisch zu klein und müssen korrigiert werden. In der Schweiz hat sich Sevruk ausführlich mit dieser Problematik beschäftigt [34] und Korrekturformeln entwickelt. Die korrigierten Niederschläge sind im Mittel etwa 10 % grösser als die gemessenen, wobei die nötigen Korrekturen in den Wintermonaten etwa doppelt so gross sind wie in den Sommermonaten.

Einen guten Einblick in die zeitliche Verteilung der Niederschläge geben die täglichen Niederschlagshöhen und die Monatswerte. Als Beispiel sind von der SMA-Station Madiswil die täglichen Niederschlagshöhen für die Jahre 1983 bis 1987 in Beilage I bzw. die monatlichen Niederschlagssummen der Jahre 1984 bis 1986 in Figur 3.3 dargestellt.

Die Niederschlagssummen der Monate variieren von Jahr zu Jahr stark, für den Monat September z.B. zwischen 30.2 mm (1986) und 252.0 mm (1984). In allen drei Jahren betragen die Sommerniederschläge (April bis September) jedoch ziemlich genau 60 % der Jahressumme und sind damit eindeutig grösser als die Winterniederschläge. Der im Mittel niederschlagreichste Monat ist der Mai, gefolgt vom Januar und April. Die niederschlagsärmsten Monate sind Oktober, März und November.

Fig. 3.3: Monatliche Niederschlagssummen 1984 bis 1986 der SMA-Station Madiswil



Das für die SMA-Station Madiswil dargestellte Niederschlagsgeschehen ist bei den übrigen Messstationen im Zeitablauf relativ ähnlich. Vor allem in den Sommermonaten führen jedoch lokale Gewitter zu Abweichungen. Weiter sind zudem höhenabhängige Mengenunterschiede festzustellen.

Die jährlichen Niederschlagssummen und die Mittelwerte der Zeitperiode 1984 bis 1986 sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt. Es ist augenfällig, dass die Jahressummen stark zeit- und auch merklich standortabhängig sind. Im Jahr 1984 fiel, langfristig gesehen, ungefähr eine mittlere Niederschlagsmenge. Demgegenüber war 1985 eher ein Trocken-, 1986 ein Nassjahr, wie im folgenden noch gezeigt wird. Die grössten Niederschlagsmengen fallen in Huttwil, die kleinsten in Wynau. Generell gilt: Je höher die Niederschlagsstation liegt, desto grösser sind die registrierten Niederschlagshöhen. Im Mittel beträgt die Niederschlagszunahme pro 100 m Höhendifferenz ungefähr 100 mm [25].

Tab. 3.1: Gemessene Jahresniederschlagssummen 1984 bis 1986

Niederschlagsstation	Koordinaten [m]	Höhe [m ü.M.]	Niederschlagssumme [mm] 1984	1985	1986	Mittel
Wynau	626'400/233'860	422	1113	861	1246	1073
Kaltenherberg	627'270/231'540	458	*	889	1229	-
Herzogenbuchsee	619'970/227'350	467	1187	913	1278	1126
St.Urban	631'125/230'015	491	1208	976	1437	1207
Madiswil	627'200/223'350	540	1203	899	1391	1164
Huttwil	630'660/218'240	639	1268	1073	1610	1317
Stationsmittel (ohne Kaltenherberg)		512	1196	944	1392	1177

* Station ab Oktober 1984 in Betrieb

Für Wasserbilanzen und die Arbeiten mit dem Grundwassermodell interessiert vor allem die mittlere Niederschlagshöhe eines Gebietes, der sog. Gebietsniederschlag. Aus den punktuellen Messwerten der Niederschlagsstationen wird der Gebietsniederschlag berechnet, wobei die Höhenabhängigkeit der Niederschläge und die Entfernung der Niederschlagsstationen zum betrachteten Teilgebiet zu berücksichtigen sind [36,37].

Die Jahressummen des berechneten Gebietsniederschlags für 1984 bis 1986 sind in Tabelle 3.2 ersichtlich. Die mittlere Höhe des Einzugsgebiets beträgt 540 m und entspricht somit (zufällig) der Höhenlage der Niederschlagsstation Madiswil. Die Gebietsniederschläge dürften deshalb im Bereich der nach SEVRUK, im Mittel um ca. 10 %, korrigierten Niederschlagshöhen von Madiswil liegen und sich relativ gut mit den Daten dieser Niederschlagsstation beschreiben lassen.

Tab. 3.2: Gebietsniederschlag sowie nach SEVRUK korrigierter Niederschlag der SMA-Station Madiswil 1984 bis 1986

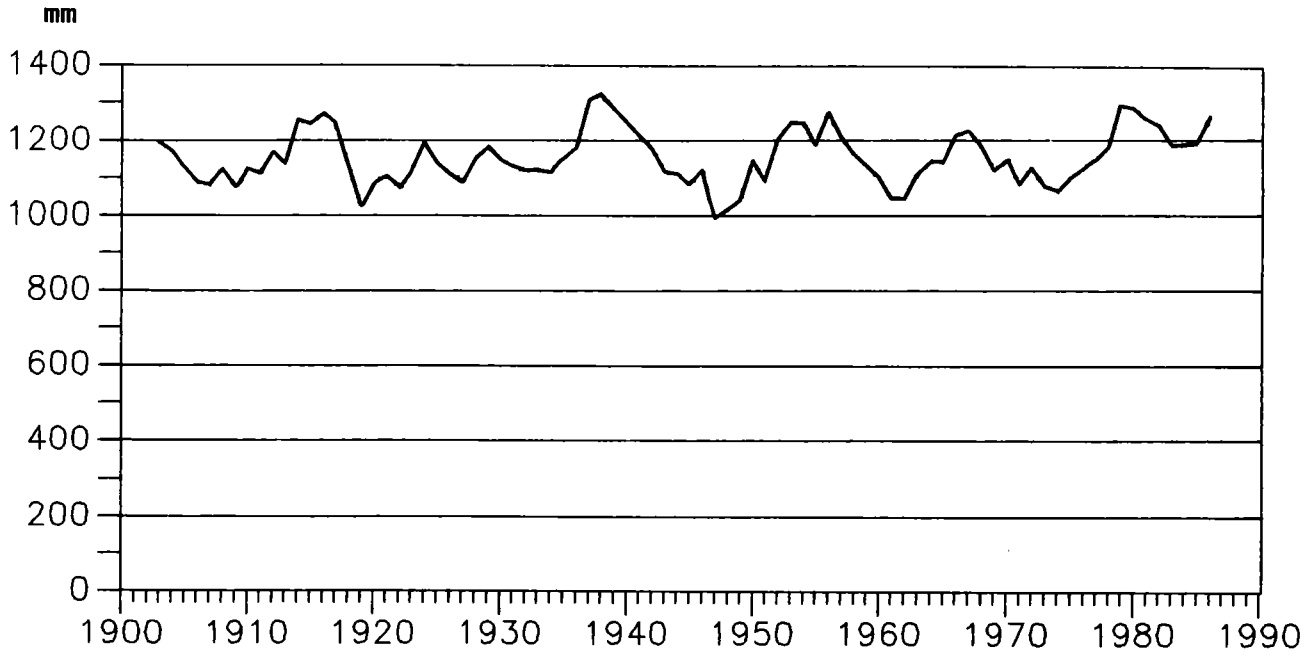
Jahr	Gebietsniederschlag [mm]	Niederschlagshöhe in Madiswil [mm]
1984	1307	1311
1985	1033	996
1986	1517	1505
Mittel	1286	1271

Damit die Untersuchungsresultate in einen grösseren zeitlichen Rahmen gestellt werden können, ist es notwendig, die hydrologischen Verhältnisse während des Untersuchungszeitraums mit den langjährigen zu vergleichen. Dabei interessiert vor allem, ob die Untersuchungsjahre hydrologisch betrachtet nass, trocken oder ungefähr durchschnittlich waren. Für diese Beurteilung eignen sich die Niederschläge am besten. Sie schwanken von Jahr zu Jahr und sind im Gegensatz zu anderen Hydrologischen Grundlagedaten kaum anderweitig beeinflusst.

Mit Trendanalysen wird vorerst untersucht, inwieweit langfristige Veränderungen festzustellen sind. Die üblichste Trendanalyse stützt sich auf eine Glättung einer langjährigen Messreihe durch die Bildung gleitender Mittel über meistens fünf Jahre [39].

Von den SMA-Stationen Herzogenbuchsee und St. Urban liegen seit 1899 Niederschlagsdaten vor, von den SMA-Stationen Madiswil und Huttwil seit 1971 sowie von Wynau seit 1977. Mit einer Doppelsummenanalyse kann gezeigt werden, dass die Niederschlagsaufzeichnungen der zusammen mit Herzogenbuchsee längsten Messreihe von St. Urban keine durch Standortverschiebungen bedingte Trends aufweisen. Für die folgenden statistischen Auswertungen sind daher ausschliesslich die Daten der Station St. Urban verwendet worden.

Fig. 3.4: Gleitende Mittel über fünf Jahre der Jahresniederschlagssummen der SMA-Station St. Urban für die Messperiode 1901 bis 1988



In Figur 3.4 ist für die Jahressummen der Niederschläge das gleitende Mittel für die Jahre 1903 bis 1986 dargestellt. Es wird zum Beispiel für das Jahr 1926 wie folgt berechnet:

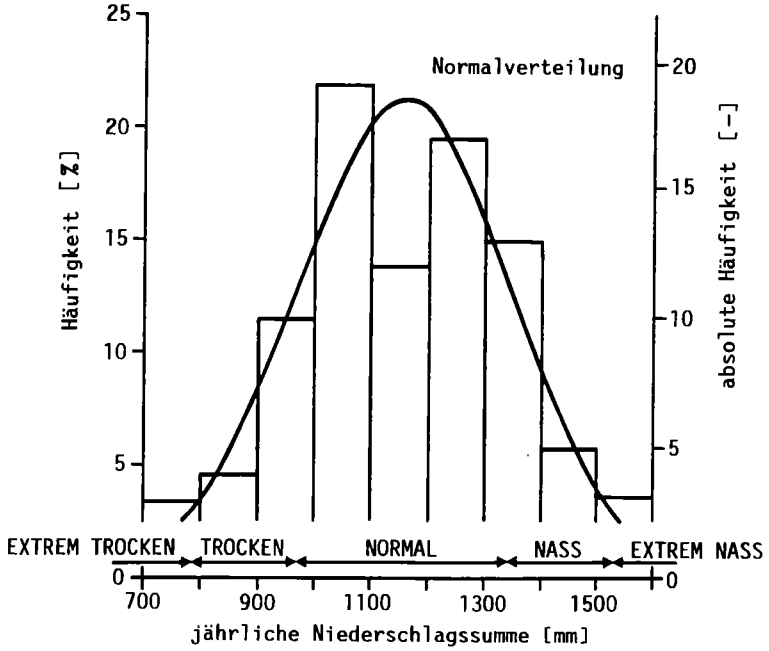
$$N_g(1926) = \frac{N(1924) + N(1925) + N(1926) + N(1927) + N(1928)}{5}$$

$N_g(1926)$: gleitendes Mittel für das Jahr 1926
$N(1924)$: Niederschlagssumme des Jahres 1924

Für den dargestellten Zeitraum ist kein offensichtlicher Trend zu erkennen. Das geglättete Niederschlagsgeschehen weist mehr oder weniger zyklische Schwankungen um einen stabilen langjährigen Mittelwert von 1153 mm auf. Auf eine Nasswetterperiode folgt jeweils wieder eine Trockenwetterperiode. Insgesamt sind fünf Zyklen deutlich erkennbar. Im Mittel tritt etwa alle 15 Jahre eine Nass- bzw. Trockenwetterperiode auf. Innerhalb dieser Perioden weichen die gleitenden Mittel bis zu 150 mm vom Mittelwert ab.

Die letzte Trockenwetterperiode herrschte anfangs, die letzte Nasswetterperiode Ende der 70-er Jahre. Seit 1979 nehmen die gleitenden Mittel wiederum ab, liegen aber immer noch über dem Mittelwert, so dass die Zeitperiode von 1980 bis 1986 generell als eher nass bezeichnet werden muss.

Fig. 3.5: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Jahresniederschlagssummen zwischen 1901 und 1988 der SMA-Station St. Urban für Schrittlängen von 100 mm



Um entscheiden zu können, ob die Niederschlagssumme eines Jahres als normal, trocken oder nass bezeichnet werden kann, wird die Häufigkeitsverteilung der Jahresniederschlagssummen zwischen 1901 und 1988 für Schrittlängen von 100 mm bestimmt und in Fig. 3.5 dargestellt. Aus dieser Figur lässt sich beispielsweise ablesen, dass eine Niederschlagssumme zwischen 1'000 und 1'100 mm 19 mal bzw. während 22 % der Zeitperiode erreicht wurde.

Interessanterweise weist das Diagramm zwischen 1'100 und 1'200 mm deutlich weniger Ereignisse auf als für die beiden benachbarten Schrittlängen. Trotz dieser Senke ergibt sich statistisch die in Fig. 3.5 dargestellte Normalverteilung [40]. Der Mittelwert N beträgt 1'158 mm, der mittlere Fehler σ ±188 mm.

Die hydrologische Charakterisierung eines Jahres beruht auf folgenden Definitionen: Als normal wird ein Jahr bezeichnet, wenn seine Niederschlagssumme grösser/gleich (N - σ) und kleiner/gleich (N + σ) beträgt. Nassjahre haben eine Niederschlagssumme grösser (N + σ) und kleiner/gleich (N + 2σ). Jahre mit Niederschlagssummen grösser (N + 2σ) werden als extrem nass bezeichnet. Die Definition von trockenen und extrem trockenen Jahren erfolgt analog. Somit ergeben sich auf 10 mm gerundet folgende Bereiche:

EXTREM TROCKEN:			N	< 780 mm
TROCKEN	780 mm	≥	N	< 970 mm
NORMAL	970 mm	≥	N	≤ 1'350 mm
NASS	1'350 mm	>	N	≤ 1'530 mm
EXTREM NASS	1'530 mm	>	N	

Für die Messreihe 1901 bis 1988 ergeben sich 2 extrem trockene, 12 trockene, 59 normale, 14 nasse und 1 extrem nasses Jahr. Mittelwert, Minimum und Maximum der Messreihe, die Niederschlagssummen der Untersuchungsjahre und ein Ereignisvergleich sind in Tabelle 3.3 zusammengefasst.

Tab. 3.3 : Minimale, maximale und mittlere gemessene jährliche Niederschlagssummen 1901 bis 1988, 1984 bis 1986 und Unterschreitungen bei 88 Ereignissen für die SMA-Station St. Urban

Jahr	Niederschlagssumme [mm]	Anzahl Unterschreitungen
1949 (Minimum)	710	0
1965 (Maximum)	1'541	87
1984	1'208	49
1985	976	14
1986	1'437	79
Mittel (1984 bis 1986)	1'207	37
Mittel (1901 bis 1988)	1'158	44

Das gemessene Minimum (1949) liegt in der Trockenwetterperiode Ende der 40-er Jahre und ist ca. 450 mm bzw. 39 % kleiner als der Mittelwert. Das Maximum (1965), liegt dagegen nicht in einer ausgesprochenen Nasswetterperiode und ist ca. 380 mm bzw. 33 % grösser als der Mittelwert. Das Jahr 1984 weist eine normale Niederschlagssumme auf, die genau dem langjährigen Mittel entspricht. Die Niederschlagssumme von 1985 liegt im Übergangsbereich zwischen normal und trocken (mittel-trocken), diejenige von 1986 ergibt ein eindeutiges Nassjahr. Der Mittelwert 1984 bis 1986 ist um ca. 50 mm geringfügig grösser als das langjährige Mittel.

Die Grundwasserneubildung durch Niederschläge, hängt nicht nur von der jährlichen Niederschlagssumme, sondern wesentlich auch von der zeitlichen Verteilung der Niederschläge ab. Da die Verdunstung in der Zeitperiode Oktober bis März gering ist, kann der grösste Teil der Winterniederschläge versickern. Von April bis September verhindert die Verdunstung meistens eine merkliche Grundwasserneubildung.

Tab. 3.4: Minimale, maximale und mittlere Halbjahres-Niederschlagssummen 1901 bis 1988, 1984 bis 1986 und Unterschreitungen bei je 88 Ereignissen für die SMA-Station St. Urban

Jahr	Niederschlagssumme [mm]		Anzahl Unterschreitungen	
	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Minimum (1921 bzw.1947)	160	280	0	0
Maximum (1982 bzw.1965)	800	917	87	87
1984	510	710	43	59
1985	385	596	18	29
1986	550	791	53	72
Mittel (1984 bis 1986)	482	699	38	58
Mittel (1901 bis 1988)	508	651	41	44

In der Tabelle 3.4 sind die gemessenen minimalen, mittleren und maximalen Niederschlagssummen der Winter- und Sommerhalbjahre 1901 bis 1988 bzw. 1984 bis 1986 zusammengestellt. Die Werte der Winterhalbjahre enthalten jeweils die Monatssummen Oktober bis Dezember des vorangegangenen sowie diejenigen von Januar bis März des angegebenen Jahres.

Die Definition der Begriffe EXTREM TROCKEN, TROCKEN, NORMAL, NASS und EXTREM NASS beruht auf den für die Jahressummen gemachten statistischen Ueberlegungen. Die mittleren Fehler für das Winter- bzw. Sommerhalbjahr betragen ±135 bzw. ±127 mm. Wiederum auf 10 mm gerundet ergeben sich die entsprechenden Werte:

für das Winterhalbjahr:

EXTREM TROCKEN:	$N < 240$ mm
TROCKEN	$240 \text{ mm} \geq N < 370$ mm
NORMAL	$370 \text{ mm} \geq N \leq 640$ mm
NASS	$640 \text{ mm} > N \leq 780$ mm
EXTREM NASS	$780 \text{ mm} > N$

für das Sommerhalbjahr:

EXTREM TROCKEN:	$N < 400$ mm
TROCKEN	$400 \text{ mm} \geq N < 520$ mm
NORMAL	$520 \text{ mm} \geq N \leq 780$ mm
NASS	$780 \text{ mm} > N \leq 900$ mm
EXTREM NASS	$900 \text{ mm} > N$

Der Vergleich mit den Werten in Tabelle 3.4 bestätigt auch für die Halbjahres-Niederschläge die bereits mit den Jahressummen gefundene Wertung: Im Jahr 1984 weichen auch die Summen der Sommer- und Winterniederschläge nur unbedeutend vom langjährigen Mittel ab. Die Niederschlagssummen von 1985 liegen im Übergangsbereich zwischen normal und trocken. Der Winter war relativ niederschlagsarm und auch im Sommerhalbjahr wurde das langjährige Mittel leicht unterschritten. Im Jahr 1986 war vor allem der Sommer überdurchschnittlich nass, aber auch die Summe der Winterniederschläge lag leicht über dem langjährigen Mittel.

Die Untersuchungsperiode 1984 bis 1986 umfasst somit ein mittleres, ein mitteltrockenes und ein nasses Jahr und deckt ein breites Spektrum der möglichen hydrologischen Verhältnissen ab. Einzig für extrem nasse bzw. trockene Jahre, wie sie vielleicht durchschnittlich alle 30 Jahre auftreten, sind die hydrologischen Untersuchungsergebnisse mit einem gewissen Vorbehalt zu betrachten.

3.2.2 Verdunstung

Die Verdunstung kann im Gegensatz zum Niederschlag höchstens mit sehr grossem Aufwand einigermassen zuverlässig direkt gemessen werden. Für unsere Untersuchungen wurde sie daher mit der halbempirischen Formel von PENMAN [38] unter Beibezug der klimatischen Bodenwasserbilanz [2] berechnet. Diese Methode hat sich bisher verschiedentlich bewährt [32,33,37]. Die PENMAN-Formel basiert auf den in SMA-Klimastationen gemessenen Klimadaten: Luftdruck, Lufttemperatur, Dampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer und erlaubt, die sog. potentielle Verdunstung, d.h. die von den klimatischen Bedingungen her maximal mögliche, zu bestimmen. Mit der Bodenwasserbilanz wird geprüft, ob der für die Verdunstung notwendige Wassernachschub gewährleistet ist. Falls dies nicht zutrifft, muss die potentielle Verdunstung auf die aktuelle reduziert werden. Bei den klimatischen Verhältnissen im schweizerischen Mittelland ist die aktuelle Verdunstung im allgemeinen nur geringfügig kleiner als die potentielle.

Die für das Untersuchungsgebiet berechnete Verdunstung basiert auf den Daten der Klimastationen Wynau und Huttwil. In Tabelle 3.5 sind die jährlichen aktuellen Verdunstungshöhen dieser Klimastationen zusammengestellt. Die jährlichen Verdunstungsmengen variieren (räumlich und zeitlich) weniger als die Niederschlagssummen. Die für Huttwil berechneten Werte liegen leicht über denjenigen für Wynau. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass in Huttwil die Temperaturen nur geringfügig tiefer, Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeiten jedoch grösser sind als in Wynau.

Tab. 3.5: Aktuelle Jahresverdunstung 1984 bis 1986

Klimastation	Koordinaten [m]	Höhe [m ü.M.]	aktuelle Verdunstungshöhe [mm] 1984	1985	1986	Mittel
Wynau	626'400/233'860	422	570	619	594	594
Huttwil	630'660/218'240	639	610	641	618	623
Stationsmittel		530	590	630	606	609

Für Wasserhaushaltsbetrachtungen interessiert in erster Linie der Gebietsmittelwert, die sog. Gebietsverdunstung. Sie ist wie der Gebietsniederschlag höhenabhängig und unter Berücksichtigung der Entfernungen zu den Klimastationen berechnet worden. Zusätzlich wurde, gestützt auf [2], für die Waldflächen die Jahresverdunstung um ca. 100 mm erhöht.

Figur 3.6 zeigt die für jeden Monat aufsummierten Tageswerte der aktuellen Gebietsverdunstung für die Jahre 1984 bis 1986. Die zeitliche Verteilung wie auch die Monatssummen sind in allen drei Jahren sehr ähnlich. Von Januar bis Juli steigt die Verdunstung stetig an und fällt anschliessend wieder kontinuierlich. In den Sommermonaten ist sie ungefähr gleich gross wie die Niederschlagssumme, so dass in dieser Zeit die Grundwasserneubildung aus Niederschlag praktisch ausbleibt (vgl. Abschnitt 4.1.2).

Fig. 3.6: Aktuelle Gebietsverdunstung 1984 bis 1986, berechnet mit den Daten der Klimastationen Wynau und Huttwil

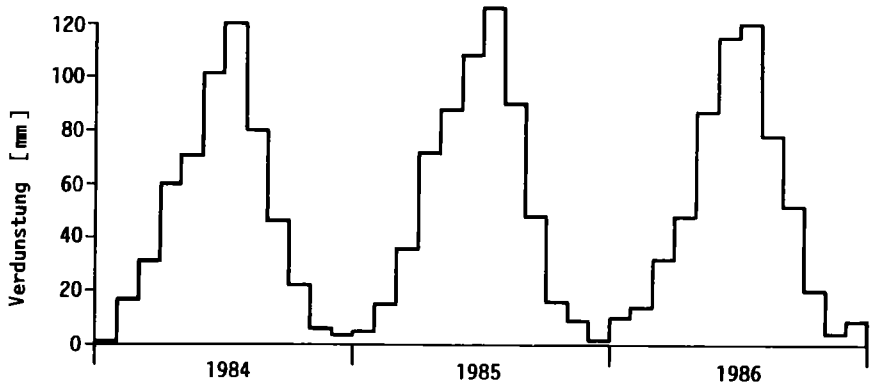


Tabelle 3.6 zeigt die aktuelle Gebietsverdunstung der Jahre 1984 bis 1986 und die Stationsmittel von Tabelle 3.5. Die Gebietsverdunstung ist praktisch gleichgross wie das Stationsmittel. Sie beträgt je nach Jahr ca. 40 bis 60 % des Gebietsniederschlags (vgl. Tab. 3.2); erwartungsgemäss ist der prozentuale Anteil in Trockenjahren grösser als in Nassjahren.

Tab. 3.6: Aktuelle Gebietsverdunstung und gemittelte Verdunstungshöhen für die SMA-Klimastationen Wynau und Huttwil 1984 bis 1986

Jahr	Aktuelle Gebietsverdunstung [mm]	gemittelte aktuelle Verdunstungshöhe von Wynau und Huttwil [mm]
1984	590	590
1985	627	630
1986	587	606
Mittel	601	609

3.3 Messungen an Oberflächengewässern

3.3.1 Wasserstand

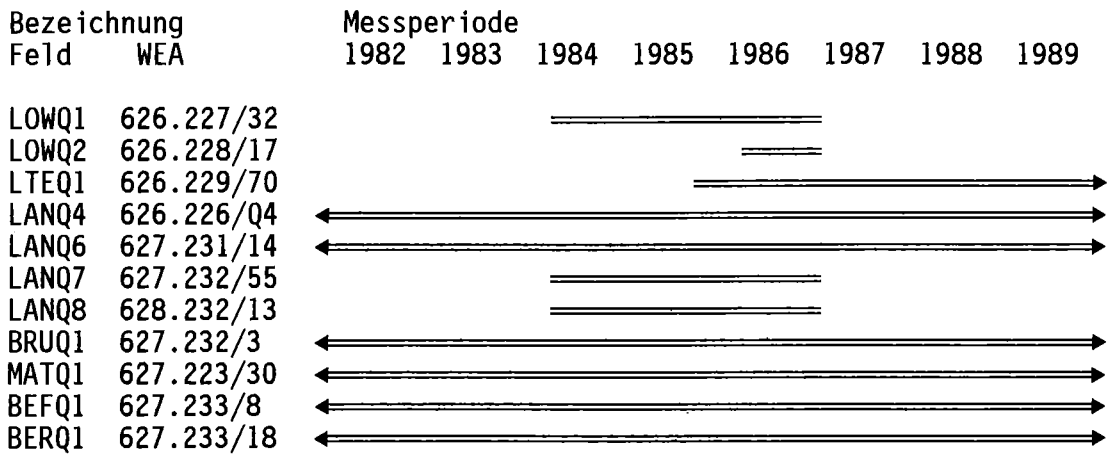
Die Wasserstandsmessungen an den Oberflächengewässern bei Abstichpunkten und Abflussmessstationen waren notwendig, um:

- zusammen mit den simultan durchgeführten Grundwasserspiegelmessungen (vgl. Abschnitt 3.5.1), die Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu beurteilen, die In- und Exfiltrationsgebiete auszuscheiden;
- zusammen mit Pegel-Abflussbeziehungen, die Abflussmengen zu bestimmen.

Bei praktisch allen Abstichpunkten entlang der Langete, in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange wurden die Wasserstände vor allem während der fünf Simultanmessungen eingemessen (vgl. Tabelle 3.8). Bei den Abstichpunkten der Seitenbäche wurden in den Jahren 1984 und 1985 periodisch alle drei bis vier Wochen sowie jeweils zusätzlich während den Abflussmessungen (vgl. Abschnitt 3.3.2), bei denjenigen der Wiesenwässerungsgebiete vorwiegend während den Wässerungszeiten, kombiniert mit Abflussmessungen in den Zu- und Wegflusskanälen, die Wasserstände erhoben.

Schreibpegel für kontinuierliche Wasserstandsmessungen standen an der Langete, im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt, im Wiesenwässerungsgebiet Allme, Lotzwil, und im Langete-Hochwasserentlastungskanal im Einsatz. Einen Überblick über die Betriebszeiten dieser Messstationen zwischen 1983 und 1989 sowie Hinweise zum Standort gibt Figur 3.7. Die Standorte aller Messstationen sind in Beilage I und teilweise in Figur 3.10 ersichtlich.

Fig. 3.7: Messperioden der Oberflächenwasser-Schreibpegel



Die Messstation LANQ4 ist identisch mit der Eidgenössischen Messstation der Langete-Lotzwil. Sie wird seit 1924 betrieben und ausgewertet. Die Ganglinien der Wasserstände werden, zusammen mit den Jahrbuchblättern der Abflussmengen in [18] jährlich publiziert.

Die Wasserstandsaufzeichnungen der übrigen Stationen wurden grösstenteils ebenfalls digitalisiert, zu Jahrbuchblättern (Tabelle mit Tagesmittel- und Extremwerten sowie Ganglinien) verarbeitet und in die weiteren Auswertungen einbezogen. Ein Beispiel einer kontinuierlichen Wasserstandsaufzeichnung an der Langete bei der WEA-Messstation Kaltenherberg (LANQ6) für die Jahre 1983 bis 1987 zeigt auch Beilage I.

3.3.2 Abflussmengen

Die Abflussmengen wurden gemessen bzw. bestimmt um:

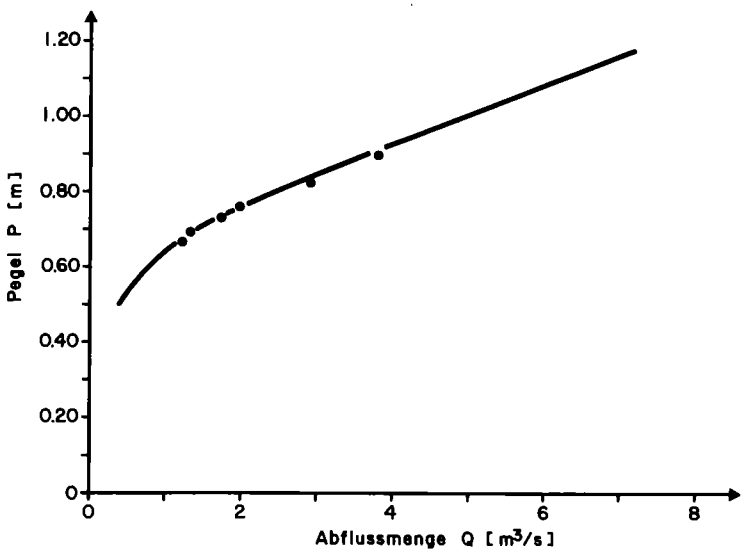
- den oberirdischen Abfluss aus den seitlichen Einzugsgebieten und aus dem ganzen Untersuchungsgebiet zu ermitteln;
- die exfiltrierenden Grundwassermengen der Exfiltrationsgebiete Brunnmatt und Mange sowie der wichtigsten Exfiltrationsstrecken der Langete zu bestimmen;
- die aus der Langete ins Grundwasser infiltrierenden Wassermengen, die sog. Langete-Infiltration, zu erfassen;
- die in den Wiesenwässerungsgebieten und im Hardwald versickernden Wassermengen zu erheben.

Sowohl bei den Abflussmengen-Messstellen wie bei den -Messstationen sind pro Jahr zwei bis sechs Abflussmessungen vorgenommen worden, bei letzteren als sog. Eichmessungen, um mit Hilfe der Pegel-Abflussbeziehung das zeitliche Abflussgeschehen bestimmen zu können.

In der Langete und im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt wurden die Abflussmessungen durchwegs mit dem Hydrometrischen Flügel nach dem Handbuch der Landeshydrologie [41] durchgeführt, in den übrigen Gewässern und den Wässerungsgebieten zum Teil auch mit dem Tauchstab [2,42].

In Figur 3.8 ist beispielhaft die Pegel-Abflussbeziehung der WEA-Messstation Kaltenherberg für das Jahr 1987 dargestellt. Da die Abflussprofile im allgemeinen nicht konstant bleiben (Sohlenveränderungen infolge Geschiebetrieb, Ausuferung usw.), müssen die Pegel-Abflussbeziehungen periodisch mit Abflussmessungen verifiziert und nötigenfalls korrigiert werden. Generell wurden jedes Jahr Eichmessungen durchgeführt, die Abflusskurven neu erstellt und allfällige Sohlenveränderungen innerhalb des Jahres durch sog. Pegelkorrekturen berücksichtigt.

Fig. 3.8: Pegel-Abflussbeziehung 1987
mit den Resultaten der Eichmessungen 1987 und 1988
der WEA-Messstation Langete-Kaltenherberg, LANQ6



Für die Messstellen, deren Wasserstände periodisch mit Einzelmessungen erhoben werden, lässt sich zusammen mit den vereinzelt gemessenen Abflusswerten die mittlere jährliche Abflussmenge abschätzen. Bei den Abflussmengen-Messstationen, deren Wasserstände definitionsgemäss kontinuierlich aufgezeichnet werden, können die Abflussmengen mit einwandfreien Pegel-Abflussbeziehungen auch kontinuierlich berechnet werden.

Für die Eidgenössische Messstation Langete-Lotzwil (LANQ4) werden die kontinuierlichen Abflussmengen jährlich durch die Landeshydrologie [18], wie bereits erwähnt, publiziert. Die Jahrbuchblätter und Ganglinien von LANQ6, BRUQ1, MATQ1, BEFQ1, BERQ1 werden für die Jahre 1984 bis 1989 in [43] zusammengestellt und ab 1990 laufend in [7] veröffentlicht. Die Ganglinien der Langete-Abflussmengen (Tagesmittel) von LANQ6 werden für die Jahre 1984 bis 1986 in Beilage I dargestellt.

Für die Langete, als das dominierende Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet, werden in Tabelle 3.7 die wichtigsten Abflussdaten angegeben.

Tab. 3.7: Mittlere, minimale und maximale gemessene Abflussmengen der Langete bei den Messstationen Lotzwil und Kaltenherberg 1984 bis 1986

Messstation	Abflussmengen in [m^3/s]								
	1984			1985			1986		
Langete,	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.
Lotzwil (LANQ4)	2.34	0.88	21	1.97	0.54	22	2.44	0.83	26
Kaltenherberg (LANQ6)	2.24	0.74	15	1.91	0.50	14	2.63	1.06	15

Beide Messstationen weisen ähnlich grosse Mittelwerte und Minima auf. Da eine enge Beziehung zwischen den jährlichen Niederschlagssummen und den mittleren Abflussmengen besteht, liegen die Mittelwerte des Jahres 1984 erwartungsgemäss zwischen denjenigen der Jahre 1985 und 1986. Die Maxima bei der Messstation Kaltenherberg sind bedeutend kleiner, da bei Hochwasser die Langete bekanntlich in Langenthal in den Hardwald entlastet wird.

Ähnlich wie der Gebietsniederschlag oder die Gebietsverdunstung ist der mittlere oberirdische Abfluss des Untersuchungsgebiets ein wichtiger Wert für die Charakterisierung der hydrologischen Verhältnisse. In der Langete bei Kleindietwil fliessen im Mittel der Jahre 1984 bis 1986 ca. 1920 l/s oberirdisch ins Untersuchungsgebiet. Das Untersuchungsgebiet verlassen oberirdisch ca. 3190 l/s, der grösste Teil davon in der Langete, untergeordnet in den Bächen bei Mange unterhalb Roggwil, im Bleienbachtal in der Altache und in gewissen Kanalisationen. Der oberirdische Gebietsabfluss beträgt somit im Mittel ca. 1270 l/s. Wegen seiner Verknüpfung mit dem unterirdischen Abfluss (Grundwasser) hängt er stark von der gewählten Abgrenzung eines Untersuchungsgebiets ab. Da diese hier bewusst so erfolgte, dass Grundwasserzu- und -wegfluss klein sind, entspricht der oberirdische Gebietsabfluss im Mittel nahezu der Differenz zwischen Gebietsniederschlag und -verdunstung, welche aufgrund der Mittelwerte von Tabelle 3.2 und 3.6 für das Untersuchungsgebiet ca. 1400 l/s ergibt.

3.3.3 Oberflächenwasserqualität

Seit 1983 werden periodisch, ca. alle zwei Monate zwischen Kleindietwil und Roggwil Wasserproben an drei verschiedenen Stellen aus der Langete durch das Kantonale Gewässerschutzamt entnommen und chemisch- bakteriologisch untersucht. Im wesentlichen werden dabei die gleichen Parameter analysiert wie im Grundwasser (vgl. Abschnitt 3.5.3) und [7].

Von den Seitenbächen liegen keine Qualitätsuntersuchungen vor. Hingegen überwacht das Gewässerschutzamt das gereinigte Abwasser der beiden regionalen Abwasserreinigungsanlagen, die sich im Untersuchungsgebiet befinden (ARA Madiswil/ Lotzwil, ARA Langenthal), welches in die Langete bzw. in den Brunnbach abgeleitet wird.

Die Resultate aller Analysen können im Gewässerschutzamt eingesehen werden in Abschnitt 6.4 wird auf einige Güteparameter eingetreten.

3.4 Messungen an Quellen

Die eigentlichen Quellfassungen sind selten zugänglich. Die Messung der Quellschüttungen und die Entnahme von Wasserproben für bakteriologische und physikalisch-chemische Analysen müssen in den Brunnstuben durchgeführt werden, wo sich das Wasser von zum Teil mehreren Quellfassungen ansammelt.

Von den Quellen in den Seitentälern und den Talflanken des Haupttales, die durch öffentliche Wasserversorgungen oder Brunnengenossenschaften genutzt werden, liegen im allgemeinen nur vereinzelte Schüttungsmessungen vor. Im bedeutenden Quellgebiet Wyssbach, Madiswil, welches durch die Wasserversorgung Madiswil genutzt wird, wurden die Schüttungen der drei Hauptquellen von uns in den Jahren 1985 und 1986 periodisch mit Behältermessungen erhoben, um Hinweise über das unterirdische Entwässerungsverhalten der seitlichen Einzugsgebiete zu erhalten. Die Messwerte variieren zwischen ca. 3 l/s (im Frühwinter) und ca. 5 l/s (im Frühsommer).

Vier namhafte sog. Quellfassungen werden direkt vom Grundwasserstrom der Langete gespeist und könnten auch generell als Grundwasserfassungen bezeichnet werden:

- die Quellen des WUL in Madiswil (MALQ1/MALQ2)
- die Mange- und Kiltberg-Quellen des WUL und der WV Murgenthal in Roggwil (ROMQ1/ROMQ2/ROMQ5)
- die Horizontalfassungen der Fa. Gugelmann in der Brunnmatt, Roggwil, (ROGF1/ROGF2,3)
- die Iff- und Kohler-Quellen der Fa. Gugelmann in Mange, Roggwil, (ROKQ1).

Die Standorte dieser Fassungen sind teilweise aus Beilage I und aus den Figuren 3.10 und 3.11 ersichtlich.

Die Schüttungen bzw. die Entnahmemengen der drei erstgenannten Anlagen werden durch die Benützer kontinuierlich oder periodisch gemessen. Sie werden im folgenden gemeinsam mit den Entnahmemengen der Grundwasserfassungen behandelt (vgl. Abschnitt 4.2.3). Die Iff- und Kohler-Quellen werden nicht mehr genutzt; das Wasser fliesst in den Brunnbach, Mange, dessen Abfluss im Rahmen der in Abschnitt 3.3.2 aufgeführten Messungen erfasst worden ist.

Das von öffentlichen Wasserversorgungen genutzte Quellwasser wird in der Regel ein- bis zweimal pro Jahr vom Kantonschemiker bakteriologisch untersucht. Physikalisch-chemische Untersuchungen werden normalerweise weniger häufig durchgeführt. Die Parameter einer Standarduntersuchung sind in Tabelle 3.11 aufgeführt.

Die von Grundwasser gespeisten Quellen (MALQ1/2, ROMQ1/2, ROGF7 als Mischwasser von ROGF1,2,3 und der Grundwasserfassung ROGF4 der Fa. Gugelmann in der Roggwiler-Terrasse) wurden in unsere speziellen Qualitätsuntersuchungen im Sommer 1986 einbezogen (vgl. Abschnitt 3.5.3) und werden seit 1987 im Rahmen der permanenten Güteüberwachung jährlich beurteilt [43].

3.5 Messungen im Grundwasser

3.5.1 Grundwasserstand

Grundwasserstandsmessungen werden vor allem durchgeführt, um die Höhenlage des Grundwasserspiegels, das Spiegelgefälle und die Fliessrichtung des Grundwassers zu erfassen, zusammen mit den Oberflächenwasserstands-Messungen die Wechselbeziehung zwischen Grund- und Oberflächenwasser aufzuzeigen, wichtige Grundlagen für die Berechnung der Fliessgeschwindigkeit, die Grundwasserbilanzierung und die Erstellung des Grundwassermodells zu erhalten.

Der Grundwasserstand ist sowohl orts- wie auch zeitabhängig. Bei Simultanmessungen werden an möglichst vielen geeigneten Messstellen (vgl. Abschnitt 3.1.1) die Grundwasserstände gleichzeitig, d.h. in der Regel innerhalb eines Tages, erhoben, um für dieses Datum die Grundwasserspiegelfläche mit Höhenkurven bzw. Isohypsen darstellen zu können. Die zeitlichen Schwankungen werden dagegen aus Kostengründen nicht im ganzen Messstellennetz erfasst, sondern lediglich in wenigen repräsentativen Messstellen mit Schreibpegeln aufgezeichnet.

Die im Untersuchungsgebiet durchgeführten Simultanmessungen sind in Tabelle 3.8 aufgeführt.

Tab. 3.8: Umfang der Simultanmessungen

Datum	Grundwasser-stand	Anzahl erhobene Grundwasserstände	Anzahl erhobene Oberflächenwasserstände
07.05.84	ca. mittel	91	44
30.05.85	mittel-hoch	129	115
31.10.85	tief	99	44
10.10.86	ca. mittel	139	53
14.10.86	ca. mittel	140	38
Total		598	294

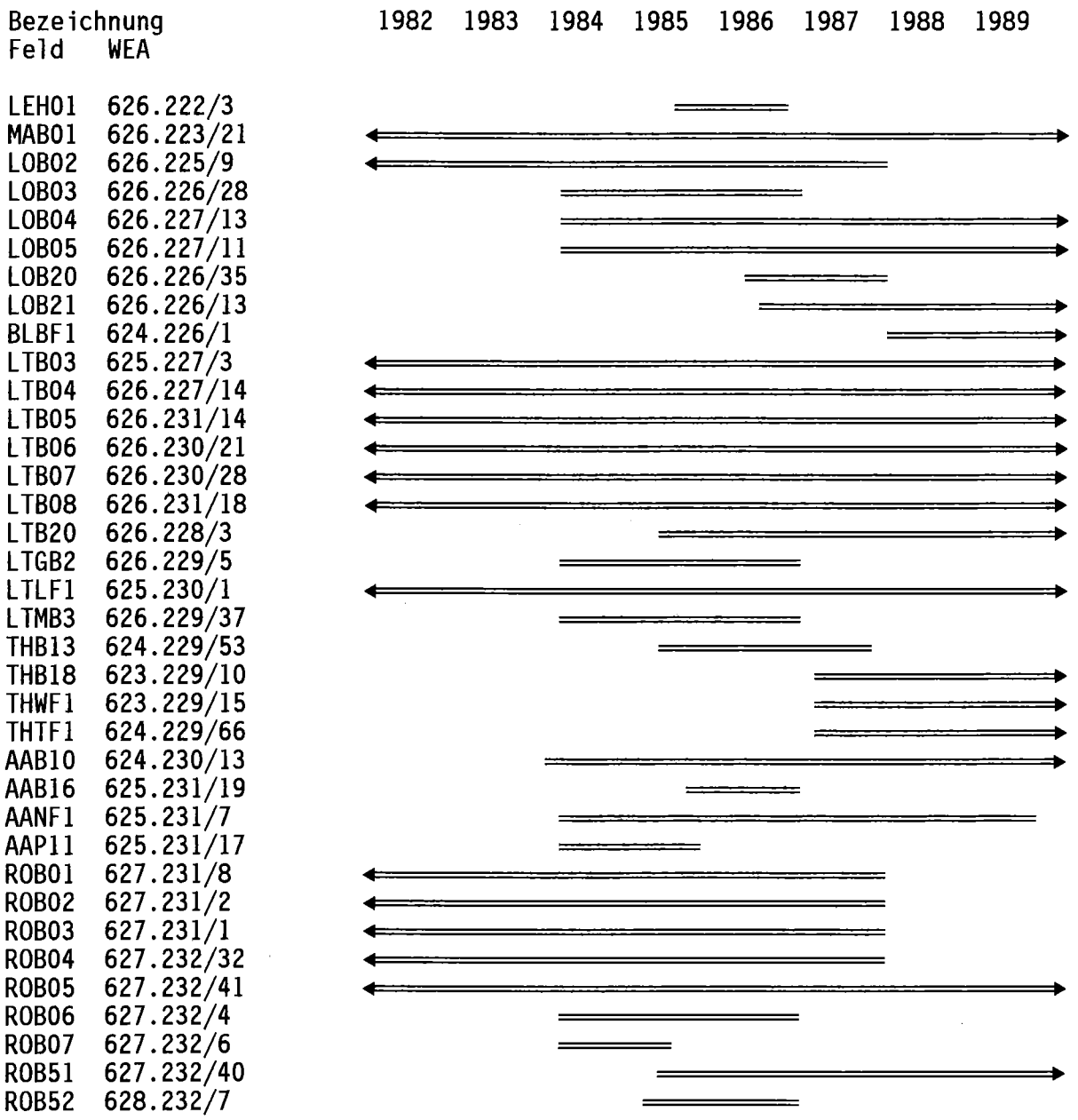
Die drei ersten Simultanmessungen wurden vor allem für die Planung, den sukzessiven Ausbau des Messstellennetzes und die Erarbeitung von Zwischenresultaten verwendet.

Die für die Untersuchungen bedeutungsvollsten sind jedoch diejenigen vom 10. und 14. Oktober 1986. Die zwei kurz aufeinanderfolgenden Simultanmessungen ermöglichten, die kurzfristigen Grundwasserspiegelbewegungen und die dadurch bewirkten Speicheränderungen im ganzen Grundwasserleiter sehr detailliert zu erfassen und in die im Abschnitt 5.2.1 beschriebene stationäre Eichung des numerischen Grundwassermodells einzubeziehen. In Beilage II ist die Grundwasserspiegelfläche vom 14. Oktober 1986, dargestellt mit Höhenkurven bzw. Isohypsen ersichtlich. Im Abschnitt 6.1 werden die Grundwasserverhältnisse für dieses Datum detailliert beschrieben.

Oertlich beschränkte Simultanmessungen sowie vereinzelte und periodische Messungen wurden vor allem im Bereich von Wässermatten und in drei Bohrungen in Langenthal (LTB21,22,23), wo aus verkehrstechnischen Gründen keine Schreibpegel installiert werden konnten, durchgeführt. Die Publikation der Messdaten erfolgte jeweils problemspezifisch (vgl. [24,25,26] und folgende Kapitel).

Kontinuierliche Messungen konnten in einem relativ umfangreichen, teilweise bereits vor der Untersuchungsperiode bestehenden Schreibpegelnetz der Wasserversorgungen und des WEA vorgenommen werden. Aus Figur 3.9 gehen die Betriebszeiten ab 1982 der eingesetzten Grundwasser-Schreibpegel hervor.

Fig. 3.9: Messperiode der Grundwasser-Schreibpegel



Die Aufzeichnungen der Schreibpegel während der Untersuchungsperiode sind digitalisiert, zu Jahrbuchblättern verarbeitet und grösstenteils in [7,43] publiziert worden. Die längsten kontinuierlichen Grundwasserstandsaufzeichnungen liegen vom Grundwasserpumpwerk Hard I des WUL (LTLF1) vor, wo seit 1947 ein Schreibpegel betrieben wird (vgl. Abschnitt 7.1.1).

Typische Grundwasserstands-Ganglinien für die Jahre 1984 bis 1986 sind für 6 Messstellen (MAB01, LOB02, LOB05, LTLF1, LTB05, ROB05) in Beilage I abgebildet. In den Kapiteln 5 und 6 werden in den Figuren 5.4a,b,c, 6.2, 6.4 bis 6.9 weitere Ganglinien gezeigt. Im Abschnitt 6.2.1 wird auf die Grundwasserspiegelbewegungen eingetreten.

Tabelle 3.9 gibt eine Uebersicht über Mittelwerte, Minima und Maxima für vollständig erfasste Kalenderjahre sowie den Grundwasserstand der Simultanmessung vom 14. Oktober 1986.

Tab. 3.9: Mittelwerte, Minima und Maxima der Grundwasserstände 1984 bis 1986 sowie Grundwasserstand vom 14.10.86 (WEA Nr. vgl. Fig. 3.9)

Messstelle	1984			1985			1986			14.10.86
	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	
MAB01	532.79	532.67	533.52	532.73	532.60	532.96	532.82	532.65	533.32	532.68
LOB02	511.72	511.33	512.76	511.75	511.53	512.80	511.76	511.56	513.17	511.58
LOB04				489.28	488.99	489.88	489.32	489.04	489.94	489.15
LOB05				490.29	489.80	491.70	490.49	489.95	491.62	490.01
LTB03	471.55	470.91	473.13	471.22	470.13	472.12	471.80	470.17	473.69	471.24
LTB04	482.83	482.16	484.41	482.62	481.81	483.39	482.92	481.89	484.14	482.26
LTB05*	449.05	448.35	454.02	448.75	447.73	453.64	449.34	447.99	453.02	449.14
LTB06	448.44	448.01	451.47	448.31	448.02	449.21	448.74	448.02	449.84	448.15
LTB07*	454.31	454.06	456.20	454.32	454.03	455.65	454.49	454.05	455.56	454.07
LTB08*	447.46	446.84	449.22	447.21	446.35	448.14	447.72	446.65	448.78	447.46
LTB20							469.58	467.54	472.11	468.64
LTGB2				451.16	450.03	452.18	451.83	450.29	453.36	451.47
LTLF1	450.07	449.37	451.22	449.73	448.55	450.65	450.34	448.72	451.65	450.28
LTMB3				472.61	472.55	472.72	472.64	472.57	472.92	472.62
THWF1	451.38	450.63	452.47				451.57	449.89	453.10	451.70
AAB10				450.01	448.75	450.98	450.65	448.89	451.99	450.60
AAB16							449.31	447.54	450.44	449.19
AANF1	448.87	448.15	450.92	448.56	447.50	450.67	449.15	447.74	450.75	448.95
ROB01	446.11	445.66	448.30	445.96	445.36	446.55	446.24	445.68	446.94	445.97
ROB02	445.50	444.98	447.14	445.30	444.59	446.04	445.66	444.90	446.45	445.43
ROB03	443.87	443.47	446.64	443.70	443.07	444.75	443.98	443.46	446.20	443.67
ROB04	442.22	441.80	444.50	442.06	441.48	442.91	442.33	441.74	445.09	442.03
ROB05	436.92	436.57	439.20	436.84	436.24	440.78	436.91	436.40	440.14	436.69
ROB06							437.49	436.95	441.07	437.24
ROB51							442.35	441.59	444.80	441.88
ROB52							438.75	438.00	439.54	438.47

* Höhen gegenüber [7] infolge Neuvermessung korrigiert

3.5.2 Entnahmemengen

Die öffentlichen Grundwasser- und die unmittelbar vom Grundwasserstrom gespeisten Quellfassungen (vgl. Abschnitt 3.4) gehen aus Tabelle 3.10 hervor. Die Standorte sind in den Beilagen I und II ersichtlich.

Tab. 3.10: Grundwasser- und Quellfassungen der öffentlichen Wasserversorgungen

Bezeichnung Feld	WEA	Fassungsanlage	Standort-Gemeinde der Fassungsanlage	Wasserversorgung
MALQ1+Q2	626.223/3	Quellen Madiswil		WUL
LOFO1+02	626.226/1+2	PW Oberfeld	Lotzwil	Lotzwil
BLBF1	624.226/1	PW Underi Ey	Bleienbach	Bleienbach
THWF1	623.229/1	PW Winkelacker	Thunstetten	WUL
THTF1	624.229/50	PW Tannwäldli	Thunstetten	WUL
LTLF1	625.230/1	PW Hard I	Langenthal	WUL
AALF2	625.230/7	PW Hard II	Aarwangen	WUL
AALF3	625.230/33	PW Hard III	Aarwangen	WUL
AANF1	625.231/7	PW Unterhard	Aarwangen	WUL
AAWF1	626.232/29	PW Mumenthal	Aarwangen	WUL
LTHO1	626.231/1	PW ARA Langenthal		-
ROMQ5	629.233./2	Quelle Kiltberg	Roggwil	Murgenthal
ROMQ1+Q2	629+628.233/1+15	Quellen Mange	Roggwil	WUL/Murgenthal

In den Trink- und Brauchwasserfassungen der Wasserversorgungen werden die gepumpten Grundwassermengen mehrheitlich kontinuierlich aufgezeichnet oder periodisch gemessen.

Die bedeutendsten privaten Fassungen sind diejenigen der Fa. Gugelmann (vgl. Abschnitt 3.4, Standorte Fig. 3.10 und 11). Die geförderten Entnahmemengen werden periodisch gemessen. Die wenigen übrigen privaten Fassungen fallen mengenmässig nicht ins Gewicht und können für regionale Betrachtungen vernachlässigt werden.

Im Mittel werden dem Grundwasserleiter ca. 170 l/s Trink- und Brauchwasser entnommen. Die Entnahmemengen werden grösstenteils im Abschnitt 4.2.3 detaillierter zusammengestellt.

3.5.3 Bakteriologische und physikalisch-chemische Untersuchungen

Die Qualität des in den öffentlichen Fassungsanlagen geförderten Grundwassers wird analog wie beim Quellwasser durch das Kantonale Laboratorium (Tinkwasserkontrolle) überwacht. Dazu werden jährlich in jeder Fassung mehrere Wasserproben entnommen, bakteriologisch und zum Teil auch physikalisch-chemisch untersucht. Die dabei normalerweise untersuchten Parameter sind in Tabelle 3.11 aufgeführt.

Durch dieses Labor werden seit einigen Jahren vereinzelt und nach Bedarf noch zusätzliche chemische Untersuchungen z.B. nach Chlor-Kohlenwasserstoffen (CKW) und Pestiziden (vgl. Abschnitt 6.4.3) durchgeführt. Die Untersuchungsresultate können dort eingesehen werden.

Im Zusammenhang mit der Verunreinigung des Grundwassers durch leichtflüchtige Chlor-Kohlenwasserstoffen (CKW) im Raum Bützberg-Langenthal sind zahlreiche Wasserproben, vorwiegend im Langenthalerbecken, entnommen und mehrheitlich nach dem Summenparameter FOCL (Summe aller leichtflüchtigen Organochlorverbindungen, angegeben in µg Cl pro Liter Wasser) oder gezielt nach den gebräuchlichsten CKW-Substanzen wie Trichlorethylen (Tri) und Tetrachlorethylen (Per) analysiert worden [12,13,14].

Im Rahmen der Untersuchungen für die Hydrogeologie Langenthal wurde vom 02.07. bis 10.07.1986 eine umfangreiche Chemiekampagne durchgeführt. Dabei sind in 49 Messstellen Wasserproben entnommen und analysiert worden. Basierend auf den Resultaten konnte ein gebietsspezifisches Chemie-Messstellennetz mit insgesamt 22 Messstellen ausgeschieden werden (Standorte vgl. Beilage I), welches flächendeckend und im Hinblick auf aktuelle Gefährdungen eine möglichst umfassende Güteüberwachung versprach. Neben 12 öffentlichen und einer privaten Fassungsanlage umfasst dieses Messstellennetz 9 pumpbare Aufschlussbohrungen. Die Wasserproben können entweder mit den installierten Pumpen der Fassungsanlagen oder mit mobilen Unterwasserpumpen entnommen werden. Vor dem Abfüllen des Wassers in die Probeflaschen kann somit jeweils mindestens 1 m^3 vorgepumpt werden. In diesem Messstellennetz wird seit März 1987 mit jährlich 1 bis 2 Chemiekampagnen, teil- und zeitweise ergänzt mit Spezialuntersuchungen, die Qualität des Grundwassers im Langetetal überwacht. Die Ergebnisse werden jährlich in [43] publiziert. Teilweise wird auch in den Abschnitten 6.4.1 und 6.4.2 auf sie eingetreten.

Tab. 3.11: Bakteriologische und physikalisch-chemische Parameter der Standarduntersuchung des Kantonschemikers

Bakteriologische Parameter	Physikalisch-chemische Parameter
Keimzahl Coliforme Keime Übrige Keime	Gesamthärte Calcium Magnesium Säureverbrauch Chlorid Sulfat Nitrat Kaliumpermanganatverbrauch Nitrite Ammonium Gesamt-Eisen Gesamt-Mangan Sauerstoff Sauerstoffsättigung Leitfähigkeit pH-Wert

3.6 Beziehung zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser

Die Strömungsverhältnisse im Grundwasserleiter dürfen nicht losgelöst von den Abflussverhältnissen in den Oberflächengewässern betrachtet werden, da die Gewässerbette kaum je völlig dicht sind. Aus den meisten Oberflächengewässern sickert Wasser in den Grundwasserleiter (Infiltration) oder sie werden von austretendem Grundwasser gespeist (Exfiltration). Innerhalb einer Gewässerstrecke, selbst innerhalb eines Gewässerquerschnittes können sowohl In- wie auch Exfiltrationszonen vorhanden sein.

Mit Hilfe von Wasserstands- (vgl. Abschnitt 3.3.1 und 3.5.1), Temperatur- und Abflussmessungen, chemischen Analysen u.a. können die In- und Exfiltrationsverhältnisse abgeklärt werden. Im folgenden wird vorerst, basierend auf Wasserstandsmessungen, qualitativ aufgezeigt, entlang welchen Gewässerabschnitten In- bzw. Exfiltrationsverhältnisse vorliegen. Auf die In- bzw. Exfiltrationsmengen wird in den Abschnitten 4.1 und 4.2 eingetreten.

3.6.1 In- und Exfiltration der Langete

Die Länge der Langete innerhalb des Untersuchungsgebiets beträgt rund 15.7 km. Die in Beilage I angewandte Kilometrierung der Langete entspricht derjenigen des Projektes für den Hochwasserschutz, beginnt bei der Brücke in Wystägen (= km 0.0) und endet beim Zusammenfluss mit der Rot (= km 15.22). Die noch zum Untersuchungsgebiet gehörende Fliessstrecke von ca. 0.5 km Länge oberhalb der Brücke in Wystägen wurde negativ kilometriert. Auf eine Kilometrierung der Seitenarme bzw. -kanäle der Langete, die insgesamt eine Länge von ca. 1.9 km aufweisen, wurde verzichtet.

In Beilage I sind die Sohle der Langete, der mittleren Langete- und der Grundwasserspiegel unter der Langete im Längenprofil 1:25000/250 dargestellt. Deutlich ergeben sich Abschnitte, wo Langete- und Grundwasserspiegel praktisch auf gleicher Höhe liegen und solche, wo der Grundwasserspiegel deutlich unter der Langete liegt. Die Wechselbeziehung zwischen Langete und Grundwasser ist offensichtlich ortsabhängig (vgl. auch Beilage II für den 14. Oktober 1986). Generell lassen sich drei Gewässerabschnitte mit jeweils relativ ähnlichen Verhältnissen ausscheiden.

Der erste Gewässerabschnitt umfasst die Langete zwischen Kleindietwil und Lotzwil. Er weist eine Länge von ca. 6.2 km auf. 500 m unterhalb des Beginns liegt die Abfluss-Messstelle LANQ1 (626.221/21) am unteren Ende die Abfluss-Messstation LANQ4 (626.226/Q4 Eidg. Messstation). Der zweite Gewässerabschnitt zwischen Lotzwil und Roggwil hat eine Länge von ca. 8.2 km. An seinem unteren Ende wurde die Abfluss-Messstation LANQ8 errichtet. Der dritte, zwischen Roggwil und der Rot ist mit einer Länge von ca. 1.3 km der kürzeste (vgl. Beilage I).

Gewässerabschnitt 1 (Kleindietwil - Lotzwil)

In diesem Gewässerabschnitt hängen Langete- und Grundwasserspiegel über weite Strecken zusammen. Bei mittleren Wasserständen liegt der Langetespiegel hauptsächlich wenig unter dem benachbarten Grundwasserspiegel: Grundwasser exfiltriert in die Langete. Oberhalb der dominanten Abstürze, die bis 3.5 m hoch sein können, sowie im obersten und untersten Teil des Gewässerabschnitts fliesst die Langete bis ca. 2 m über dem Grundwasserspiegel. Dementsprechend kann in diesen Bereichen Langetewasser in den Grundwasserleiter infiltrieren.

Im Mühlekanal von Lotzwil, der oberhalb der Mühleschwelle (Langete km 5.0) von der Langete abzweigt und ca. 50 m oberhalb der Eidgenössischen Messstation LANQ4 wieder in die Langete mündet, liegt der Spiegel leicht über demjenigen des Grundwassers. Obschon Kanalsohlen meistens möglichst undurchlässig gebaut wurden, die Abflussmengen und Fliessgeschwindigkeiten relativ konstant sind, sickern erfahrungsgemäss gleichwohl gewisse Mengen Kanalwasser in den Grundwasserleiter.

Bei Wystägen, Kleindietwil, und oberhalb Mattenhof, Lotzwil, fliesst die Langete streckenweise über insgesamt ca. 900 m ungefähr der westlichen seitlichen Begrenzung des Grundwasserleiters entlang. Der Verlauf des Grundwasserstauers ist nicht überall nachgewiesen, die Langete fliesst jedoch teilweise auf Molasse. Inwieweit eine Wechselbeziehung zwischen der Langete und dem Grundwasserstrom stattfindet, ist unbekannt, der gegenseitige Wasseraustausch dürfte jedoch klein sein.

Die Längen der Ex- und Infiltrationsstrecken variieren leicht je nach den Wasserständen. Die Exfiltrationsverhältnisse sind dabei am ausgeprägtesten bei hohen Grund- und tiefen Langetewasserständen, z.B. einige Tage nach intensiven Niederschlägen mit allgemeinen Spiegelanstiegen und bereits wieder tiefen Langetewasserständen oder während Wiesenwässerungen. Umgekehrt liegen für die Infiltration günstige Verhältnisse vor, wenn der Grundwasserspiegel tief und der Langetewasserspiegel hoch ist, z.B. bei einem durch Gewitterniederschlägen bewirkten Langetehochwasser nach einer Trockenperiode.

Über den gesamten Gewässerabschnitt betrachtet, übersteigen die Ex- die Infiltrationsmengen meistens deutlich (vgl. Abschnitt 4.2.2). Einzig bei äusserst günstigen Voraussetzungen für die Infiltration, wie sie ungefähr alle zwei, drei Jahre ein paar Tage vorkommen, gleichen sich die beiden Mengen annähernd aus oder die Infiltration kann sogar leicht überwiegen. Im Zeitraum unserer Untersuchungen ist dies einzig während den sehr tiefen Grundwasserstände Ende Dezember 1985 eingetreten.

Gewässerabschnitt 2 (Lotzwil-Roggwil)

Der Langetewasserspiegel hängt, abgesehen von einer ca. 1 km langen Teilstrecke unterhalb der Einmündung des Kleinbächleins (Langete ca. km 8.2 bis 9.2), nicht direkt mit dem Grundwasserspiegel zusammen. Er liegt bis 15 m höher. Das infiltrierende Langetewasser sickert vorwiegend vertikal durch die nicht gesättigte Überwasserspiegelzone (perkolative Infiltration). Die Infiltrationsmenge ist damit unabhängig von der Spiegellage des Grundwassers.

In der Teilstrecke unterhalb der Einmündung des Kleinbächleins liegt der Grundwasserspiegel östlich direkt neben der Langete teilweise höher als der Langetewasserspiegel und Grundwasser exfiltriert. In den übrigen Bereichen verhält es sich umgekehrt: Langetewasser infiltriert in den Grundwasserleiter, wobei direkte Infiltration stattfindet, deren Menge wie bei der Exfiltration abhängig ist von den Wasserständen in der Langete und im Grundwasser.

Die Wasserspiegel der Seitenarme der Langete (Kleinbächlein, Sägebach) innerhalb dieses Gewässerabschnittes liegen durchwegs höher als die benachbarten Grundwasserspiegel. Die Infiltration ist perkolativ, teilweise auch direkt.

Gewässerabschnitt 3 (Roggwil-Mange)

Unmittelbar unterhalb der Abfluss-Messstation LANQ8 fliesst die Langete nach einem natürlichen Absturz von ca. 7 m (heute ein Teil der Staustufe des Kleinkraftwerkes) in einem in den Terrassenrand erodierten steilen Bett. Der Grundwasserspiegel ist unterhalb des Absturzes bis zur Rot grösstenteils an die Langete angeschlossen. Bis zur Einmündung des Brunnbachs, Mange, exfiltriert massiv Grundwasser aus der Roggwiler-Terrasse in die Langete. Unterhalb der Einmündung sickert Grundwasser aus dem Exfiltrationsgebiet Mange (vgl. Abschnitt 3.6.4) und aus dem nördlich angrenzenden Gebiet in die Langete. Diese Exfiltrationsmengen sind jedoch verhältnismässig gering.

3.6.2 Exfiltration Rot

Aus dem Rottal kommend, fliesst die Rot nordöstlich von Roggwil vorbei und mündet zusammen mit der Langete in die Murg. Ihr Wasserspiegel liegt in diesem Bereich bedeutend tiefer als der Grundwasserspiegel in Roggwil und Grundwasser aus der Roggwiler-Terrasse kann in die Rot exfiltrieren. Da die Durchlässigkeitsverhältnisse zwischen der Roggwiler-Terrasse und der Rot jedoch schlecht sind (Moräne ?), können nur unbedeutende Grundwassermengen in die Rot gelangen, die sich aus fehlertheoretischen Gründen mit Feldmessungen nicht erfassen liessen.

3.6.3 Beziehung zwischen den Seitenbächen und dem Grundwasser

Die Bäche der seitlichen Einzugsgebiete (vgl. Beilage I) können ebenfalls wie die Langete und ihre Seitenarme, soweit dies von den Wasserspiegel- und Untergrundverhältnissen her möglich ist, Wasser in den Grundwasserleiter abgeben bzw. Grundwasser aufnehmen. Im Mündungsbereich der Seitentäler sind ihre Abflussmengen vereinzelt gemessen worden, damit für die Hydrologische Bilanz der seitlichen Einzugsgebiete der mittlere oberirdische Abfluss abgeschätzt werden konnte (vgl. Abschnitt 4.1.2, Abflussmessstellen vgl. Beilage I). Sie fliessen über unterschiedlich lange Strecken über dem Grundwasserleiter des Langetentales und münden grösstenteils in die Langete, zum Teil in die Altache, den Bergbach in der Brunnmatt, die Aare und das öffentliche Kanalisationsnetz. Das Gewässernetz der Seitenbäche über dem Grundwasserleiter beträgt ca. 25 km, davon sind ca. 4 km eingedohlt. Seine Länge ist somit etwas grösser als diejenige der Langete und ihrer Seitenarme, welche ca. 17.6 km beträgt.

Seitenbäche zwischen Kleindietwil und Lotzwil

Die Seitenbäche zwischen Kleindietwil und Lotzwil fliessen alle in die Langete. Ihr Gewässernetz über dem Grundwasserleiter weist eine Länge von ca. 8 km auf. Ihre Wasserspiegel liegen mehrheitlich etwas über dem Grundwasserspiegel. Die In- und Exfiltrationsmengen sind im Vergleich zum Wasseraustausch zwischen Langete und Grundwasser verschwindend klein und werden nicht separat ausgewiesen.

Seitenbäche zwischen Lotzwil und Kaltenherberg

Die Gerinne aus dem Bleienbachtal sowie die Seitenbäche aus den östlichen Einzugsgebieten fliessen, teilweise eingedohlt, in die Langete bzw. in den Sägebach. Ihr Gewässernetz auf dem Grundwasserleiter ist ungefähr 5 km lang, davon sind etwa 2 km eingedohlt. Ihre Wasserspiegel liegen mehrheitlich deutlich über dem Grundwasser. Einzig im Bereich der Einmündung des Schulbächleins aus dem Raum Obersteckholz in den Sägebach liegt der Oberflächen- ungefähr auf gleicher Höhe wie der Grundwasserspiegel. Da das Schulbächlein in diesem Bereich in einem betonierten Kanal fliesst, kann jedoch praktisch kein Wasseraustausch stattfinden. Unter der Annahme, die Infiltrationsleistung der Seitenbäche pro 1 m^2 Sohle entsprechen derjenigen der Langete, infiltriert aus den Bächen ca. 20 Mal weniger als aus der Langete. Diese Infiltrationsmenge wird in diejenige der Langete eingerechnet.

Im Bleienbachtal münden die Seitenbäche in die Altache, die zur Oenz in die Aare fliesst. Im Grundwasserstrom besteht ungefähr im Bereich des Torfsees eine Wasserscheide. Der Grundwasserzufluss ins Langetental wird durch die Altache nicht beeinflusst.

Seitenbäche zwischen Bützberg/Aarwangen und Kaltenherberg/Roggwil

Aus den seitlichen Einzugsgebieten bei Bützberg (Thunstetten-Schoren bzw. Spichigwald) fliessen kleine Bäche in die Talsohle, vereinigen sich im Bereich Risenacher zu einem einzigen, der Richtung Hard, Aarwangen, und von dort eingedohlt entlang der Hauptstrasse in die Aare fliesst. Das Gewässernetz auf der Talsohle hat eine Länge von ca. 4 km, davon sind ca. 0.5 km eingedohlt. Die Gewässerspiegel liegen durchwegs mehrere Meter über dem Grundwasser, perkolative Infiltration ist möglich.

Bei der Abfluss-Messstelle AA010 bzw. 625/231.21 (vgl. Beilage I) wurde der Abfluss dieses sogenannten Talbächleins vereinzelt gemessen und bei der Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag (vgl. Abschnitt 4.1.2) als oberirdischer Abfluss aus dem entsprechenden Einzugsgebiet berücksichtigt. Allfällige Infiltrationsmengen aus dem Gewässernetz sind deshalb in der berechneten Grundwasserneubildung enthalten.

Zwischen Kaltenherberg und Roggwil fliessen keine Seitenbäche über dem Grundwasserleiter. Die vorhandenen kleinen Gerinne münden bereits im Randbereich des Grundwasserleiters entweder in den Bergbach, der zum Exfiltrationsgebiet Brunnmatt gehört (vgl. Abschnitt 3.6.4) oder ins Kanalisationsnetz von Roggwil, das zur ARA Murg führt. Eine Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Seitenbächen findet somit nicht statt.

3.6.4 Grundwasserexfiltrationsgebiete

Die bedeutendsten Grundwasserexfiltrationsgebiete liegen im unteren Bereich des Grundwasserstroms, in der Brunnmatt und der Mange.

Exfiltrationsgebiet Brunnmatt

Das als Exfiltrationsgebiet Brunnmatt bezeichnete Gebiet liegt unmittelbar nordwestlich der Roggwiler-Terrasse zwischen Kaltenherberg/Mumenthalerweiher und den Fabrikgebäuden der Fa. Gugelmann, Roggwil (vgl. Figur 3.10 und Beilage II).

In der Landschaft (vorgesehen als kantonales Naturschutz-Gebiet, BLN-Objekt) besteht ein äusserst verzweigtes Gewässernetz mit verschiedenen Teichen, die teilweise künstlich angelegt wurden und für Fisch- und Kressezucht genutzt werden. Die Haupt-Quellbäche sind Bergbach, Mattenbach und Brunnbach, welche sich oberhalb der Fabrikgebäude der Fa. Gugelmann vereinigen und als Brunnbach Richtung SBB-Station Roggwil/ Wynau fliessen, um sich dann wiederum in verschiedene Teilbäche aufzuteilen.

Der wesentlichste Teil der Exfiltrationsmenge der Brunnmatt wird mit den Abflussmengen-Messstationen BERQ1, BEFQ1, MATQ1, BRUQ1 erfasst. Die Abflussmengen des Mattenbachs und des Bergbachs werden unmittelbar vor ihrer Einmündung in den Brunnbach erhoben. Da sich der Bergbach ca. 150 m vor seiner Einmündung aufteilt in zwei Bachläufe, sind für seine Mengenbestimmung zwei Messstationen notwendig. Der Brunnbach wird nach der Einmündung des Mattenbachs gemessen, unmittelbar oberhalb der Einmündung des gereinigten Abwassers aus der ARA Langenthal und des Ueberlaufs der Fassungen der Fa. Gugelmann. Die Jahrbuchblätter der Wasserstände und Abflussmengen der vier Messstationen werden in [43] und ab 1990 in [7] publiziert.

Während niederschlagsfreien Perioden führen die Quellbäche praktisch ausschliesslich exfiltriertes Grundwasser. Die kleinen Gerinne, die vom nordwestlichen Hügelzug in den Bergbach entwässern sowie der zeitweise Abfluss aus dem Mumenthaler-Weiher betragen zusammen im Durchschnitt höchstens ca. 5 l/s. Während heftiger Niederschläge ist der oberirdische Abfluss grösser, im Brunnbach kann bei Hochwasser auch Überschusswasser der Langete fliessen. Für die Grundwasserbilanz und die Modelleichung wurden für die Berechnung der Exfiltrationsmenge der zeitweise Fremdwasseranteil berücksichtigt.

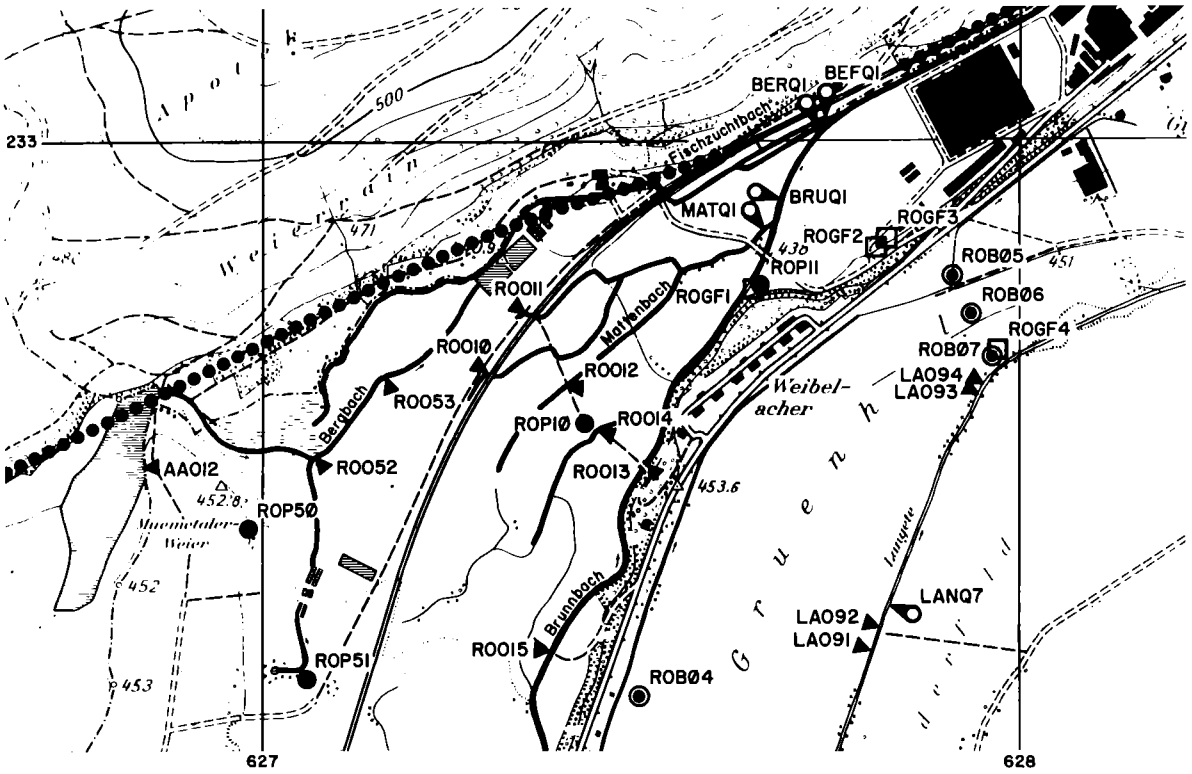
Exfiltrationsgebiet Mange

Das Exfiltrationsgebiet Mange ist in Figur 3.11 und Beilage II abgebildet. Es umfasst im wesentlichen die am nördlichen Rand der Roggwiler-Terrasse austretenden Quellen, insbesondere die von WUL und Murgenthal genutzten Neue Mange (ROMQ2), Alte Mange (ROMQ1), Kiltberg (ROMQ5), die Iff- und Kohler-Quellen der Fa. Gugelmann (ROKQ1), die zur Zeit nicht mehr genutzt werden und überlaufen in den Brunnbach, Mange. Daneben gibt es noch mehrere kleine Quellen, die ungefasst direkt in die Langete sickern. Ihre Schüttungen sind jedoch im Vergleich zu den ersterwähnten gering und können vernachlässigt werden.

Von den durch die Wasserversorgungen genutzten Quellen, deren Überläufe ebenfalls in die Langete münden, liegen detaillierte Angaben über die Schüttungen vor. Die Schüttungen der Quellen der Fa. Gugelmann wurden indirekt mit Differenzmessungen im Brunnbach (Abfluss-Messstellen R0004 und BRUQ4) mehrere Male erhoben.

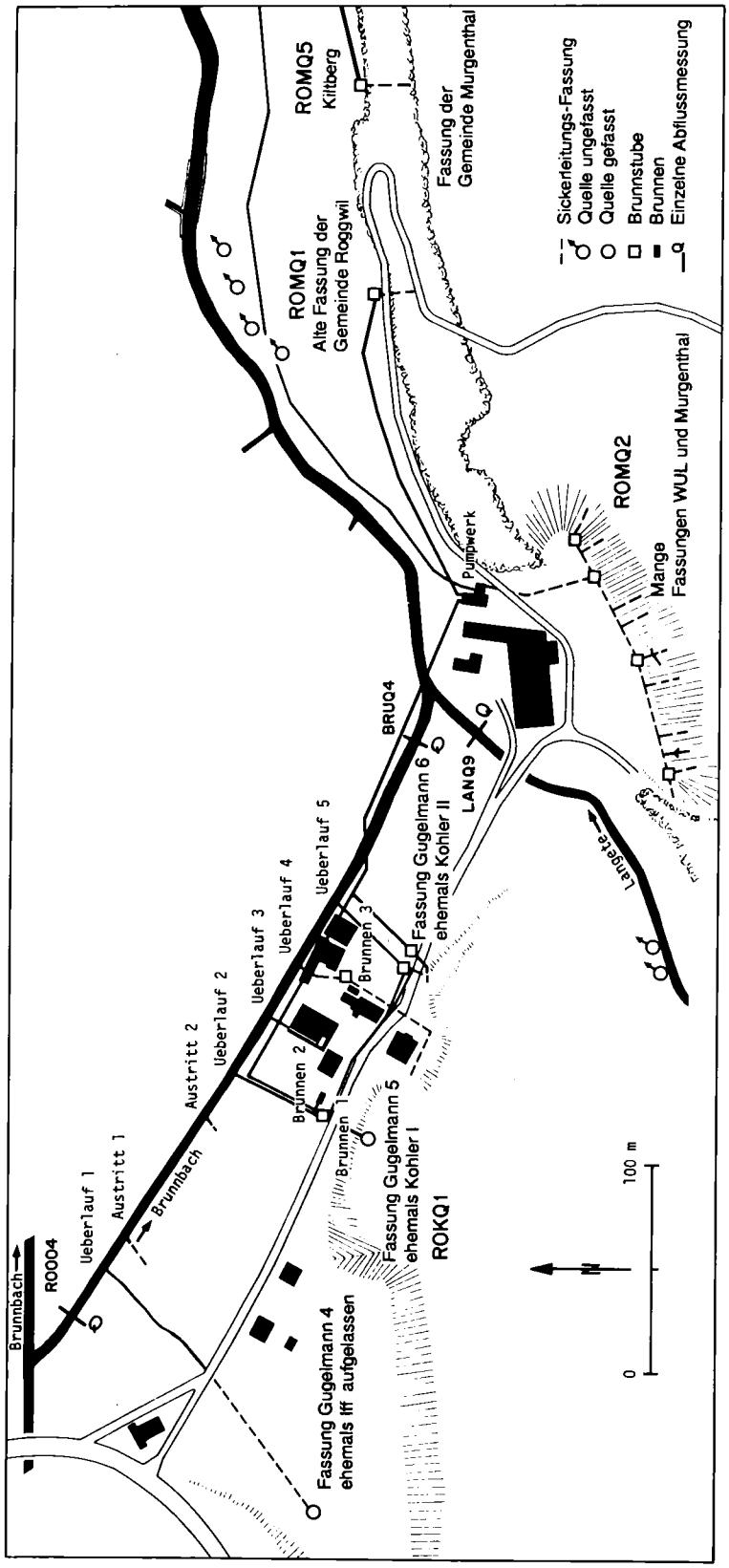
Die weiter nördlich vom Brunnbach, Mange, fliessenden Gewässer, die wie der Brunnbach Wasser aus dem Exfiltrationsgebiet Brunnmatt ableiten, wirken nicht mehr als Exfiltrationsbäche. Ihre Wasserspiegel liegen grösstenteils über demjenigen des Brunnbachs, Mange. Sie münden in die Murg und sind bezüglich Zusammenhänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser bedeutungslos.

Fig. 3.10: Exfiltrationsgebiet Brunnmatt mit Messstellennetz und Quellbächen



- □ Fassung Fa. Gugelmann
- ◉ Bohrung
- ● Peilrohr
- ⚲ Abfluss-Schreibpegel
- ▼ Wasserstands-Abstichpunkt
- •••• Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

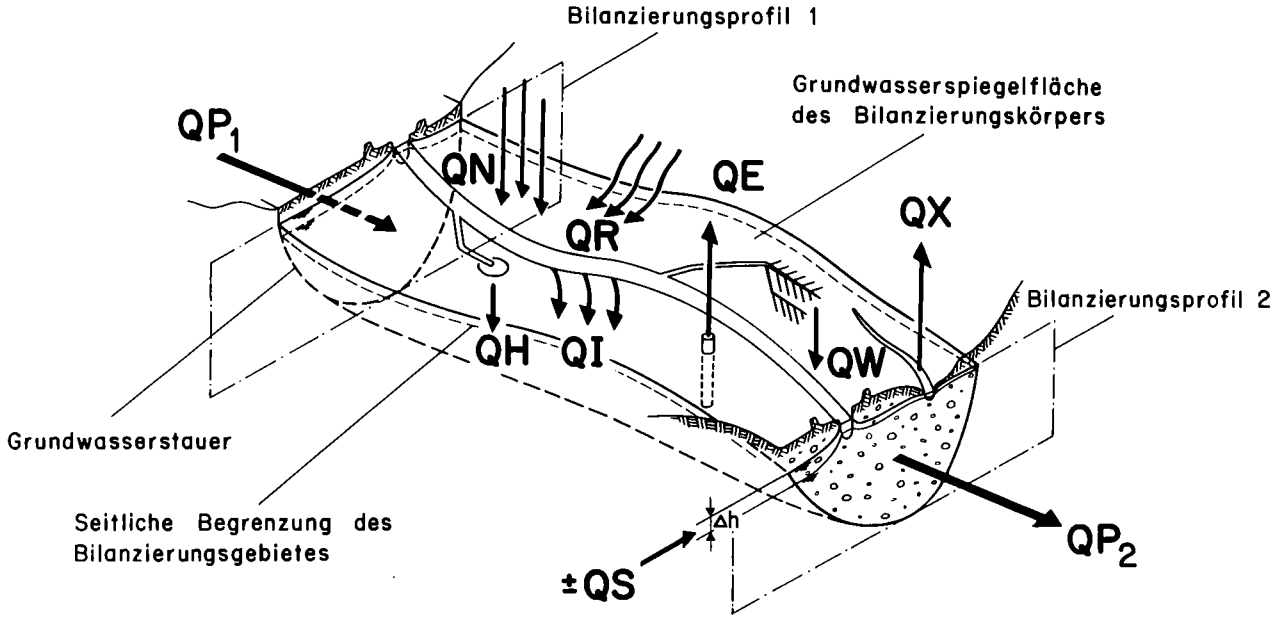
Fig. 3.11: Exfiltrationsgebiet Mange (aus [1])



4. ERMITTLUNG DER GRUNDWASSERZU- UND WEGFLÜSSE

Grundwasser-Dargebotsstudien, Nutzungs- und Schutzkonzepte erfordern, dass die Grundwasserzu- und -wegflüsse des Grundwasservorkommens möglichst umfassend und ausreichend genau gemessen bzw. bestimmt werden. Dies gilt auch, wenn für die Grundwasserbilanzierung und die Überwachung des Grundwasservorkommens ein numerisches Grundwassermodell erstellt wird (vgl. Kapitel 5), denn die (unabhängig vom numerischen Modell) berechneten Zu- und Wegflüsse werden bei den Modellarbeiten entweder als Eingabedaten oder Kontrollgrössen benötigt.

Fig. 4.1: Schematischer Bilanzierungskörper mit Grundwasserzu- und -wegflüssen im Grundwasserstrom des Langetentals



ZUFLÜSSE

QP_1: Zufluss durch das Bilanzierungsprofil z.B. KLEINDIETWIL

Bilanzierungsprofil z.B. Kaltenherberg

QN: direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Brauchwasserversorgung)

QR: indirekte Grundwasserneubildung (Randzuflüsse)

QI: Infiltration aus Oberflächengewässern (vorwiegend Langete)

QW: Grundwasserneubldung aus Wiesenwässerung

QH: Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald

WEGFLÜSSE

QP_2 Wegfluss durch das

QE: Grundwasserentnahmen (Trink- und

QX: Exfiltration von Grundwasser

SPEICHERÄNDERUNG

QS: Speichermengen(+) bzw. Zehrmengen(-)

Im Rahmen dieser Studie ist deshalb der Ermittlung der Grundwasserzu- und -wegflüsse, basierend auf den in Kapitel 2 und 3 aufgeführten Hydrologischen Kennziffern und Grundlagedaten, grosse Bedeutung beigemessen worden. Dazu waren zum Teil umfangreiche Messungen und Berechnungen notwendig, welche im wesentlichen mit den Methoden, wie sie in [2] beschrieben sind, durchgeführt wurden. Auf die Berechnungsmethoden wird deshalb nicht im Detail eingetreten, sondern in erster Linie werden die wesentlichen Resultate dargestellt.

Die angegebenen Grundwasserzu- und -wegflüsse beziehen sich auf den sog. Bilanzierungskörper (vgl. Figur 4.1), der hier der Unterwasserspiegelzone des Grundwasserleiters des Mittleren und Unteren Langetentals zwischen Kleindietwil/Bützberg und Roggwil entspricht. In den im folgenden angegebenen Zu- und Wegflüssen nicht enthalten sind diejenigen des Bleienbachtal, soweit sie Richtung Thörigen wegfliessen und damit die Grundwasserbilanz des Langetentals nicht beeinflussen.

4.1 Grundwasserzuflüsse

4.1.1 Zufluss durch das Bilanzierungsprofil Kleindietwil

Aus dem oberliegenden Talabschnitt, d.h. von Rohrbach her, strömt unterirdisch ein gewisser Anteil Grundwasser in den betrachteten Bilanzierungskörper. Dieser Zufluss wird als Profilzufluss Kleindietwil bezeichnet.

Profilflüsse lassen sich in sog. Bilanzierungsprofilen quer zur Strömungsrichtung des Grundwassers nach dem Gesetz von DARCY berechnen:

$$Q = k \cdot J \cdot F$$

Q: Grundwasserfluss (Profilfluss) [m^3/s]
k: Durchlässigkeitsbeiwert des Bilanzierungsprofils [m/s]
J: Grundwasserspiegelgefälle beim Bilanzierungsprofil [-]
F: Durchflussfläche des Bilanzierungsprofils [m^2]

Der mittlere Profilzufluss durch das oberste Bilanzierungsprofil bei Kleindietwil beträgt ca. 40 l/s bei einem mittleren Grundwasserspiegelgefälle von ca. 1 %, einer Durchflussfläche von ca. 2 000 m^2 und einem Durchlässigkeitsbeiwert von ca. 2 mm/s.

Die differenzierten, instationären Berechnungen mit dem numerischen Grundwassermodell ergeben für die Jahre 1984 bis 1986 Monatsmittelwerte zwischen 28 und 40 l/s im Durchschnitt ca. 35 l/s (vgl. Figur 6.10a). Sie berücksichtigen die zeitlichen Veränderungen der Grundwassermächtigkeit und des -spiegelgefälles, die jedoch nur gering sind, da die Langete im Bereich des Profils Kleindietwil quer über das Tal fliesst und ihr Wasserstand zum Teil an den Grundwasserspiegel angeschlossen ist (vgl. Beilage II).

4.1.2 Direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Der Anteil des Niederschlags, der direkt auf den Grundwasserleiter fällt und über eine kurze, mehr oder weniger vertikale Sickerstrecke (im Untersuchungsgebiet ca. 1 bis 20 m) den Grundwasserspiegel erreicht, entspricht der sog. direkte Grundwasserneubildung GN (bezogen auf Einheitsfläche) bzw. QN (bezogen auf den ganzen Grundwasserleiter oder auf einen Teil). GN und QN können für einen gewissen Zeitabschnitt in mm (wie die tägliche Niederschlagshöhe) oder für eine Fläche in m^3/s angegeben werden.

Als Grundlage für die Ermittlung der Grundwasserneubildung müssen nach [2, 45] bekannt sein:

1) Gebietsniederschlag (N)
2) aktuelle Verdunstung (V)
3) Oberflächenabfluss (AO)
4) nutzbare Feldkapazität
5) Sickervorgang

Im langjährigen Mittel berechnet sich die direkte Grundwasserneubildung zu:

$$QN = N - AO - V$$

Wenn der zeitliche Verlauf von QN beschrieben werden soll, muss zusätzlich das Speicherverhalten des Bodens und die Wasserbewegung in der Ueberwasserspiegelzone berücksichtigt werden. Beide bewirken eine zeitliche Verzögerung und eine Dämpfung der direkten Grundwasserneubildung.

Der Gebietsniederschlag und die aktuelle Verdunstung sind in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 beschrieben worden.

Der Oberflächenabfluss kann aufgrund der abflusswirksamen Flächen, Überbauungsdichte, Geländeverhältnisse und Bewirtschaftung über entsprechende Abflussbeiwerte ermittelt werden [44]. Der Abflussbeiwert gibt an, wieviel des Niederschlags oberflächlich abfliesst und damit weder für die Verdunstung noch für die Versickerung zur Verfügung steht. Es sind folgende Beiwerte berücksichtigt worden:

- Siedlungsgebiete	0.35
- Landwirtschaftszone	0.03
- Wald	0.00

Für die Gesamtfläche des Grundwasserleiters, die ca. 19.5 km^2 beträgt, ergibt sich einen mittleren Abflussbeiwert von 0.105 d.h. von 10.5 %.

Die nutzbare Feldkapazität gibt bekanntlich an, wieviel Wasser maximal im Boden gespeichert werden kann, das auch für die Pflanzen verfügbar ist. Sie wird benötigt, um die für die Versickerung und Verdunstung relevanten Eigenschaften der oberen Bodenwasserzone beschreiben zu können, hängt von der Beschaffenheit der obersten, ca. 1 m mächtigen Bodenschicht ab (Bodenart, Lagerungsdichte, Pflanzenbewuchs), kann örtlich stark variieren und muss mit bodenkundlichen Methoden ermittelt werden.

Aus früheren bodenkundlichen Untersuchungen ist bekannt, dass im Wässerungsgebiet zwischen Langenthal und Kaltenherberg die obersten Bodenschichten vorwiegend aus mehr oder weniger stark vergleyten Braunerden bestehen [22], die eine nutzbare Feldkapazität von ca. 100 bis 200 mm, im Extremfall bis ca. 300 mm aufweisen. Da die obersten Bodenschichten der Talsohle im übrigen Untersuchungsgebiet ähnlich aufgebaut sind, dürfte sich auch ihre nutzbare Feldkapazität im ähnlichen Rahmen bewegen. In bewaldeten Gebieten ist sie wegen der grösseren Mächtigkeit der durchwurzelten Zone eher grösser. Nutzbare Feldkapazitäten innerhalb der vorliegenden Bandbreite führen annähernd zu den gleichen berechneten Versickerungsmengen, so dass detailliertere Werte nicht nötig sind.

Das Niederschlagswasser, das die Bodenoberfläche erreicht und nicht oberirdisch abfliesst, gelangt vorerst in die obere Bodenwasserzone, die als oberer Bodenwasserspeicher wirkt, aus der es entweder verdunstet (Evaporation sowie Transpiration der Pflanzen) oder dem Grundwasservorkommen als Sickerwasser SN zufliesst. Die Wassermengen von Schneedecken in den Wintermonaten erreichen die obere Bodenwasserzone erst mit Beginn der nächsten Tauperiode.

Der maximale Zufluss von Sickerwasser ins Grundwasser setzt erst ein, wenn der obere Bodenwasserspeicher voll ist und die von der Terrainoberfläche her zufliessende Niederschlagsmenge die Verdunstung überwiegt. Ein beschränkter Sickerwasserfluss kann jedoch auch bereits bei teilgefüllten Bodenwasserspeichern auftreten. In [2] wurde die dazu notwendige Teilfüllung zu 70 % bestimmt und hier analog übernommen.

Die nach [2] berechnete direkte Grundwasserneubildung beträgt im Jahresmittel der Untersuchungsperiode 315 l/s bzw. 550 mm. Im Mittel sickern ca. 45 % des Niederschlags, der auf den Grundwasserleiter fällt, ins Grundwasservorkommen. Aus Figur 6.10a gehen die Monatsmittel von QN hervor. Sie zeigen: QN variiert ähnlich stark wie der Niederschlag. In den niederschlagsreichen Wintermonaten versickern zwischen ca. 500 bis über 1'030 l/s. Die trockenen Sommermonate sind dagegen ohne namhafte direkte Grundwasserneubildung. In den Wintermonaten (Oktober bis März) ist QN durchschnittlich 50 % grösser als in den Sommermonaten.

4.1.3 Indirekte Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Als indirekte Grundwasserneubildung QR werden die Zuflüsse bezeichnet, die dem betrachteten Grundwasservorkommen über die seitlichen Ränder zusickern, entweder konzentriert aus den Grundwasserleitern der Seitentäler oder dispers auf Grundwasserstauern der angrenzenden Talflanken. Sie werden durch Niederschlagswasser gespeist, das im seitlichen Einzugsgebiet direkt versickert oder aus Bächen und Gräben in den Untergrund infiltriert.

Für die Berechnung der indirekten Grundwasserneubildung ist das seitliche Einzugsgebiet unterteilt worden in Teilgebiete mit und ohne Oberflächengewässer (vgl. Beilage I). Die 11 Teilgebiete mit Oberflächengewässer weisen ein Einzugsgebiet von 23.6 km^2 auf. Vom Niederschlagswasser gelangt normalerweise nur ein kleiner Teil oberflächlich direkt in die Gewässer. Der grössere Teil versickert und speist teilweise als sog. Interflow die Gewässer. Im Bereich der Einmündung der Seitenbäche ins Haupttal fliesst im allgemeinen auch konzentriert Grundwasser in den Hauptgrundwasserleiter. Die 16 Teilgebiete ohne wesentliche Oberflächengewässer ergeben ein Einzugsgebiet von 10.9 km^2. Hier sickert unterirdisch vorwiegend dispers Wasser ins Grundwasservorkommen des Haupttales. Interflow, In- und Exfiltration und damit messbare Reaktionen zwischen Oberflächengewässer und dem Grundwasserspeicher fehlen.

Die Bestimmung der indirekten Grundwasserneubildung ist für jedes Teilgebiet getrennt nach [2] vorgenommen worden. In einem ersten Schritt wurde die Sickerwassermenge berechnet, analog wie bei der direkten Grundwasserneubildung, jedoch mit leicht höheren Abflussbeiwerten für unüberbaute Flächen, um der Hangneigung Rechnung zu tragen:

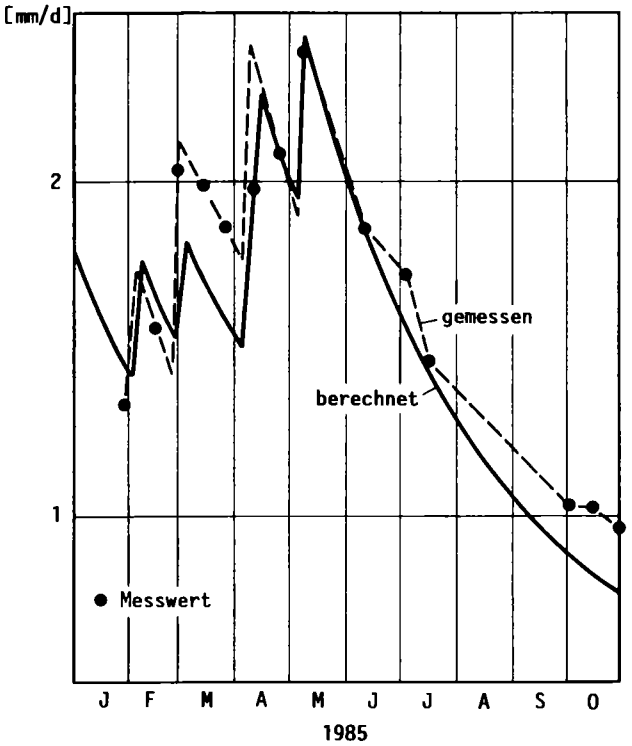
- Siedlungsgebiete	0.35
- Landwirtschaftszone	0.05
- Wald	0.03

Im Mittel beträgt der Abflussbeiwert für alle seitlichen Einzugsgebiete 0.056 bzw. 5.6 %.

In einem zweiten Schritt wurde der Sickerfluss mit einem gegenüber [2] erweiterten Doppelspeichermodell beschrieben, das erlaubt, das Entwässerungsverhalten von Quellen nachzuvollziehen.

Das Doppelspeichermodell weist 3 Parameter auf, die für seine Anwendung bekannt sein müssen. Sie wurden anhand von den gemessenen Quellschüttungen und Basisabflussmengen optimiert, die bekanntlich das Entwässerungsverhalten ihrer Einzugsgebiete widerspiegeln. Als Beispiel zeigt Figur 4.2 die ca. alle 14 Tage gemessenen und mit den optimierten Parametern berechneten Schüttungen der Hauptquelle von Wyssbach, Madiswil. Der Vergleich dokumentiert: das Entwässerungsgeschehen kann mit der verwendeten Berechnungsmethode gut nachvollzogen werden.

Fig. 4.2: Berechnete und gemessene Quellschüttungen der Hauptquelle von Wyssbach, Madiswil



Für die Teilgebiete mit Oberflächengewässern wurde der Basisabfluss von der ermittelten indirekten Grundwasserneubildung abgezogen. Damit können näherungsweise die Zusammenhänge zwischen Sickerwasser, Seitenbäche und Grundwasserspeicher berücksichtigt werden [39]. Der mittlere Basisabfluss der Seitenbäche ist mit den in Trockenzeiten durchgeführten Abflussmessungen (vgl. Abschnitt 3.3.2) abgeschätzt, die zeitlichen Schwankungen sind mit dem erwähnten Doppelspeichermodell berechnet worden.

Die indirekte Grundwasserneubildung beträgt im Mittel 395 l/s. Bezogen auf die Fläche der seitlichen Einzugsgebiete entspricht dies einer jährlichen Grundwasserneubildung von 360 mm. Im Mittel sickern ca. 30% des Niederschlags, der auf die seitlichen Einzugsgebiete fällt, ins Haupt-Grundwasservorkommen. Dieser Prozentwert ist erwartungsgemäss kleiner als derjenige der direkten Grundwasserneubildung von ca. 45%, da ein Teil des Sickerwassers in den Seitenbächen wegfliesst.

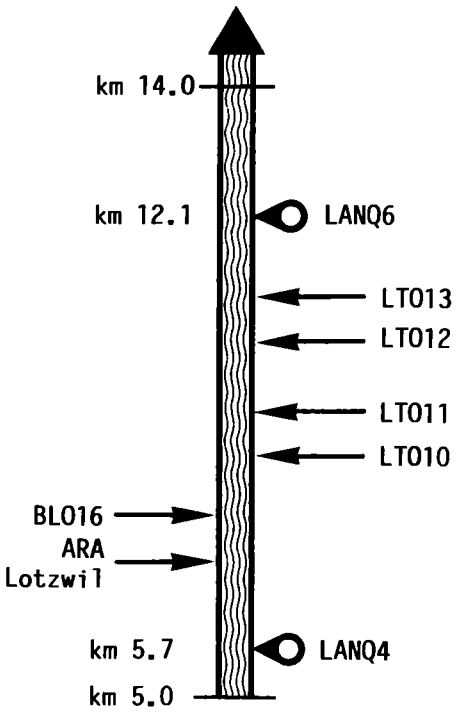
In Figur 6.10a sind die Monatsmittelwerte von QR abgebildet. Wie auch aus Figur 4.2 hervorgeht, ist ihr zeitlicher Verlauf im Gegensatz zu demjenigen der direkten Grundwasserneubildung relativ ausgeglichen. So ist z.B. der maximale Monatsmittelwert lediglich etwa dreimal grösser als der minimale und auch während der relativ grossen Trockenzeit der zweiten Jahreshälfte 1985 sank er nie unter 200 l/s. QR ist also gerade auch in trockenen Zeiten eine besonders wertvolle Komponente der Grundwasserneubildung. Dies ist auf die zum Teil sehr langen Sickerwege und kleinen Fliessgeschwindigkeiten sowie auf das grosse Wasserspeichervermögen in den seitlichen Einzugsgebieten zurückzuführen.

4.1.4 Infiltration aus Oberflächengewässern

Die Infiltration der Langete ist im Gewässerabschnitt 2 am bedeutendsten. In den Gewässerabschnitten 1 und 3 überwiegt die Exfiltration. Die Infiltrationsmengen der Seitenbäche sind durchwegs von untergeordneter Bedeutung (Abschnitt 3.6)

Seit 1984 werden periodisch zwischen den beiden Messstationen LANQ4 und LANQ6, welche ca. 6.3 km auseinander liegen, Differenzmessungen durchgeführt und ihre Resultate in [43] publiziert: Bei diesen Messkampagnen wird jeweils zuerst die Abflussmenge bei der Messstation LANQ4 gemessen, anschliessend diejenige bei LANQ6, wobei beide Messungen jeweils knapp 2 Stunden dauern. Da die mittlere Fliesszeit zwischen den Messstationen ungefähr 2 Stunden beträgt, wird bei den beiden Messungen etwa das gleiche Wasserpaket erfasst und Korrekturen infolge Wasserstandsschwankungen können meistens unterbleiben. Die seitlichen Zuflüsse, die dazu notwendige Messzeit beträgt ca. 2 Stunden, werden durch eine zweite Messequipe gleichzeitig erhoben. Wie im Abschnitt 3.6.3 erwähnt, liegen die Messstellen der Seitenbäche am Rande des Haupttales. Die Wasserverluste zwischen Messstelle und Langete sind in der Infiltrationsmenge QI enthalten. Die Zuflüsse aus der ARA Madiswil/Lotzwil werden jeweils den betriebsinternen kontinuierlichen Aufzeichnungen entnommen. Figur 4.3 gibt schematisch einen Ueberblick über die Zuflüsse der Langete zwischen den beiden Messstationen LANQ4 und LANQ6. In Beilage I sind die genauen Messstandorte ersichtlich.

Fig. 4.3: Messschema für Differenzmessungen zwischen LANQ4 und LANQ6 (Langete)



Die Infiltrationsmenge QI zwischen den beiden Messstationen berechnet sich zu:

$$QI = Q2 - Q1 + QS$$

QI: Infiltrationsmenge
Q1: Langete-Abflussmenge bei der Messstation LANQ4
Q2: Langete-Abflussmenge bei der Messstation LANQ6
QS: Summe der Abflussmengen der Langete-Zuflüsse

Die Abflussmessungen werden mit dem hydrometrischen Flügel unter Anwendung der von der Landeshydrologie im Handbuch für die Abflussmengenmessung [41] publizierten Methode durchgeführt. Damit kann für die gemessenen Abflussmengen der Langete mit einen mittleren Fehler von ca. ±3% gerechnet werden. Die seitlichen Zuflüsse können wegen ihrer geringen Wassertiefen etwas weniger genau gemessen werden; die mittleren Fehler dürften deshalb ca. ±10% der Abflussmenge betragen.

Ausgehend von den Messfehlern der Abflussmengen können diejenigen der gesuchten Infiltrationsmengen nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz wie folgt berechnet werden:

$$m_{QI} = \pm\sqrt{m_{Q1}^2 + m_{Q2}^2 + m_{QS}^2}$$

m_{Q1}: mittlerer Fehler der Abflussmenge bei LANQ4
m_{Q2}: mittlerer Fehler der Abflussmenge bei LANQ6
m_{QS}: mittlerer Fehler der Abflussmenge der Zuflüsse

Die Messfehler und damit auch diejenigen der Infiltrationsmengen sind mengenabhängig: Bei ungefähr mittleren Abflussverhältnissen (Q1 ≈ 2'300 l/s) beträgt m_{QI} ca. ±100 l/s, bei Niederwasser (Q1 ≈ 1'000 l/s) dagegen lediglich ca. ±40 l/s. Bei mittleren bis hohen Abflussmengen (Q1 ≈ 5'000 l/s) muss jedoch bereits mit mittleren Fehlern grösser ±200 l/s gerechnet werden. Bei den aktuellen Infiltrationsmengen müssen deshalb die Abflussmesskampagnen vorwiegend auf niedrige bis mittlere Wasserführungen beschränkt werden. In diesen Abflussbereichen sind zudem die kurzfristigen Wasserspiegelschwankungen klein, was ebenfalls erwünscht ist.

Insgesamt liegen bis Ende Juli 1988 die Daten von 15 Abflussmesskampagnen vor (vgl. Tabelle 4.1). Die damit erfassten Abflussverhältnisse (880 l/s ≤ Q1 ≤ 3850 l/s) sind durchschnittlich repräsentativ für ca. 300 Tage pro Jahr, wobei allerdings Messwerte für Niederwasserperioden vorherrschen.

Tab. 4.1: Infiltrationsmengen aus Differenzmessungen

Datum	Langete-Abflussmengen LANQ4 [m^3/s]	LANQ6 [m^3/s]	Zuflüsse [m^3/s]	QI [m^3/s]	Gewicht [-]
19.06.84	1.45	1.45	0.06	0.06	0.65
23.07.85	1.36	1.28	0.06	0.14	0.79
26.09.85	1.02	0.88	0.04	0.18	1.52
23.10.85	0.88	0.71	-0.06[W)]	0.11	2.11
19.02.86	1.32	1.33	0.06	0.05	0.78
22.05.86	3.85	3.78	0.12	0.19	0.10
30.06.86	2.22	1.97	-0.03[W)]	0.22	0.32
17.07.86	1.77	1.74	0.08	0.11	0.45
09.12.86	1.43	1.21	0.06	0.28	0.78
31.03.87	3.50	3.62	0.17	0.05	0.11
04.08.87	1.99	1.97	0.06	0.08	0.35
01.12.87	1.89	1.97	0.09	0.01	0.37
31.05.88	2.88	2.72	0.11	0.27	0.18
28.06.88	1.85[L)]	1.77	0.08	0.16	0.42
26.07.88	1.47[L)]	1.48	0.06	0.05	0.63

[L)]: Messung Landeshydrologie

[W)]: Wiesenwässerung von ca. 100 l/s

Die Infiltrationsmengen der einzelnen Messkampagnen variieren zwischen 10 und 280 l/s. Unter Berücksichtigung der angegebenen, fehlertheoretisch berechneten Gewichte der einzelnen Kampagnen ergibt sich aus den 15 Messungen eine mittlere Infiltrationsmenge von 130 l/s.

Aus den vorhandenen Abflussmessungen ergibt sich somit zwischen den Messstationen LANQ4 und LANQ6 eine gut abgesicherte mittlere Infiltrationsmenge von ca. 130 l/s mit einem mittleren Fehler von ca. ±20 l/s. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% liegt damit die mittlere Infiltrationsmenge zwischen 110 und 150 l/s.

Allfällige Schwankungen der Infiltrationsmenge, z.B. infolge veränderter Wasserführung und Temperatur der Langete oder Sohlenbewegungen des Gerinnes nach Hochwasserereignissen, lassen sich mit Differenzmessungen nicht ermitteln. Sie dürften kleiner als die mittleren Fehler der Infiltrationsmenge sein und sind für die Grundwasserneubildung in der Gesamtbilanz unbedeutend.

Es soll an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden: Aus der letzten Aussage darf nicht gefolgert werden, die Hochwasserereignisse hätten für die Langeteinfiltration keine Bedeutung. Im Gegenteil: Die periodisch vorkommenden Hochwasser, selbst bei Messstelle LANQ6 unterhalb der Hochwasserentlastung in den Hardwald treten z.B. durchschnittlich pro Jahr drei- bis viermal Abflussmengen grösser 12 m^3/s auf, reinigen jeweils die Gerinnesohle und begünstigen die Infiltration. Bleiben sie aus, muss mit einem Rückgang der Infiltrationsmengen gerechnet werden [50].

Wie die Infiltrationsuntersuchungen an der Emme im Unteren Emmental gezeigt haben [46], wird die zeitliche Variation der perkolativen Infiltration vor allem verursacht durch Aenderungen des benetzten Umfangs eines Bachbettes. Im Gegensatz zur Emme, die zeitweise innerhalb des Flussbettes mäandriert und örtlich und zeitlich unterschiedlich breit ist, verändert sich der benetzte Umfang der Langete im Gewässerabschnitt 2 nur unbedeutend, eine relativ gleichmässige Infiltrationsmenge ist zu erwarten.

Es ist anzunehmen, dass die Infiltrationsmenge pro Laufmeter Langete in gewissen Grenzen variiert und nicht entlang der ganzen Fliessstrecke gleich gross ist. Für die Grundwasserbilanz darf die Infiltrationsleistung jedoch ortsunabhängig angenommen und im Gewässerabschnitt 2 auch auf die Fliessstrecken ausserhalb der Messstationen LANQ4 und LANQ6 übertragen werden. Dies ergibt für den gesamten Gewässerabschnitt eine Infiltrationsmenge von ca. 190 bis 200 l/s und entspricht einer mittleren Infiltrationsrate (= Infiltrationsmenge pro Quadratmeter Flussbett) von ca. 300 l/m^2d. Die Infiltrationsrate der Langete ist im Vergleich mit anderen Fliessgewässern, z.B. der Emme im Unteren Emmental [2, 46], rund viermal kleiner.

Die messtechnisch nachgewiesene Infiltrationsmenge wird auch durch die instationäre Eichung des numerischen Strömungsmodells und die Grundwasserbilanz (vgl. Kapitel 5 und 6) bestätigt: Ohne die gleichmässige Speisung des Grundwasservorkommens durch die Langeteinfiltration zwischen Lotzwil und Roggwil würde eine entsprechende Fehlmenge entstehen. Da die Grundwasserwegflüsse relativ genau bestimmt werden können (nahezu sämtliches Grundwasser tritt an die Oberfläche und kann gemessen werden, vgl. Abschnitt 4.2), müsste die Fehlmenge durch andere, gleichmässige Grundwasserzuflüsse ausgeglichen werden. Sie liesse sich auf jeden Fall nicht durch zu klein berechnete Grundwasserneubildungen aus Wiesenwässerung oder Langete-Hochwasserversickerung erklären, da diese Neubildungen ausgesprochen stark schwanken.

4.1.5 Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung

Die spezielle Bewässerungsform von landwirtschaftlich genutztem Wiesland, wie sie im Langetental seit Jahrhunderten betrieben wird (vgl. Kapitel 7), wird als Wiesenwässerung bezeichnet. Das Oberflächenwasser, grösstenteils aus der Langete aber auch aus Seitenbächen, wird in einem verzweigten Grabensystem zu den Wässermatten geführt, in den Gräben mit Britschen aufgestaut und über die angrenzenden Wiesen verrieselt. Das etappenweise Verschieben der Britschen ermöglicht bei entsprechender Grabendichte eine nahezu flächendeckende Bewässerung der jeweiligen Gebiete. Das nicht versickerte Wasser (= Überschusswasser) wird durch Rücklaufgräben in den Vorfluter zurückgeführt.

Diese Rieselbewässerung ist eingeführt worden, um mit dem Schwebestoffgehalt des Oberflächenwassers die Matten zu düngen und so den landwirtschaftlichen Ertrag zu verbessern. Nicht eigentlich das Wasser, sondern sein Schwebestoffgehalt war gefragt. Erst in jüngster Zeit tritt die Verbesserung des Wasserhaushalts der Pflanzen in den Vordergrund. Es war nie das eigentliche Ziel, mit den Wiesenwässerungen Grundwasseranreicherung zu betreiben. Dies war vielmehr ein Nebeneffekt.

In verschiedenen Publikationen [z.B. 4, 5, 19, 20, 21, 23] werden die historische Entwicklung, die Bedeutung als Landschaftselement, die Schutzwürdigkeit und -möglichkeiten der Wiesenwässerung eingehend beschrieben. Hier wird auf diese Aspekte nicht eingetreten, sondern lediglich ihr Einfluss auf die Grundwasserneubildung untersucht (vgl. Abschnitt 1.1).

Basierend auf den Flächenangaben über die ursprünglich vorhandenen Wässermatten von 440 ha zwischen Lotzwil und Roggwil [4], dürften früher im Untersuchungsgebiet 600 bis 700 ha Wiesland gewässert worden sein. Gemäss unseren Aufnahmen im Frühjahr 1984 wurden anfangs der achziger Jahre noch ca. 50 ha mehr oder weniger regelmässig gewässert. Diese Fläche entspricht einem Viertel des in [20] ausgeschiedenen Schutzgebietes A, das für die "Erhaltung oder Wiederherstellung der Wässermattenlandschaft mit allen Elementen" vorgeschlagen wird.

Der Trend zum weiteren Auflassen von Wässermatten setzt sich bis Ende der achtziger Jahre fort. So wird in den Erhebung der SVIL [23] für anfangs 1987 noch eine betriebene Wässermattenfläche im Langetental von 41.8 ha angegeben, wovon 35 ha in unserem Untersuchungsgebiet liegen.

Auch die Wässerpraxis hat sich im Laufe der letzten Jahre entscheidend verändert. Früher wurde in der Regel viermal, nämlich vor der Vegetationsperiode (bis April), nach der Heuernte (Juni), nach dem zweiten Schnitt (Juli/ August) und im Spätherbst (November/Dezember) gewässert. Die Schleusen wurden jeweils ca. 10 Tage lang geöffnet, mehr oder weniger unabhängig vom Wasserstand im Oberflächengewässer. Hochwasser waren grösstenteils erwünscht, wegen des erhöhten Schwebestoffgehalts. Da die Mahd nicht in allen Wässermatten gleichzeitig war (sie kann um mehr als 10 Tage verschieden sein), verlängerten sich die Wässerungsperioden pro Jahr auf ca. 60 maximal ca. 80 Tage. Heute werden derart intensive Wiesenwässerungen nirgends mehr durchgeführt. In der Regel wird noch ein- bis dreimal pro Jahr während total ungefähr 10 bis höchstens 30 Tagen gewässert. Teilweise wird auf den noch betriebenen Wässermatten auch Hofdünger ausgebracht, ebenso behindern oder verunmöglichen benachbarte, umgebrochene Parzellen eine regelmässige Wässerung. Zudem ist das Grabennetz nicht mehr so verzweigt wie früher, so dass nur noch bedingt flächendeckend gewässert werden kann.

Die wichtigsten, während des Untersuchungszeitraums betriebenen Wässerungsgebiete sind:

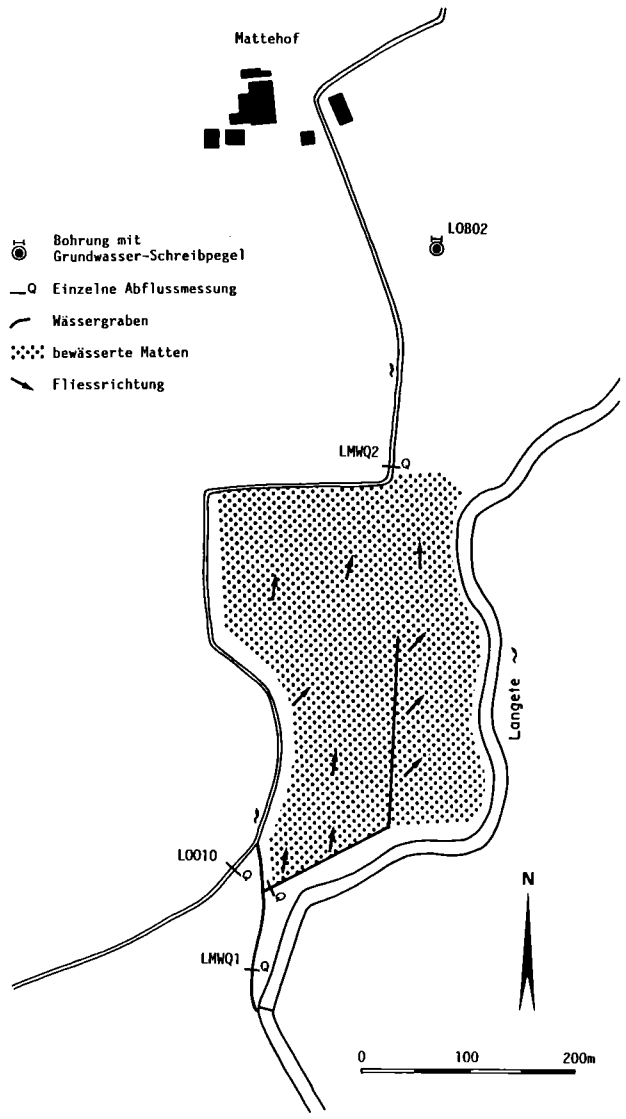
- Mattehof, Lotzwil	Fläche ca. 7 ha
- Allme, Lotzwil	Fläche ca. 6 ha
- Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal	Fläche ca. 8 ha
- Gruenholz, Roggwil	Fläche ca. 25 ha

Die Figuren 4.4 bis 4.7 geben einen generellen Überblick über diese Wässerungsgebiete und die vorhandenen Messstellen, die angebracht wurden, um die versickerten Wässerungsmengen und damit die sich ergebende Grundwasserneubildung bestimmen zu können.

Wässerungsgebiet Mattehof, Lotzwil

Hier wurde während der Untersuchungsperiode jeweils in den Monaten November/Dezember eine bis vier Wochen gewässert. Im Jahr 1984 erfolgte zudem eine wöchige Wässerung im Sommer.

Fig. 4.4: Wässerungsgebiet Mattehof, Lotzwil

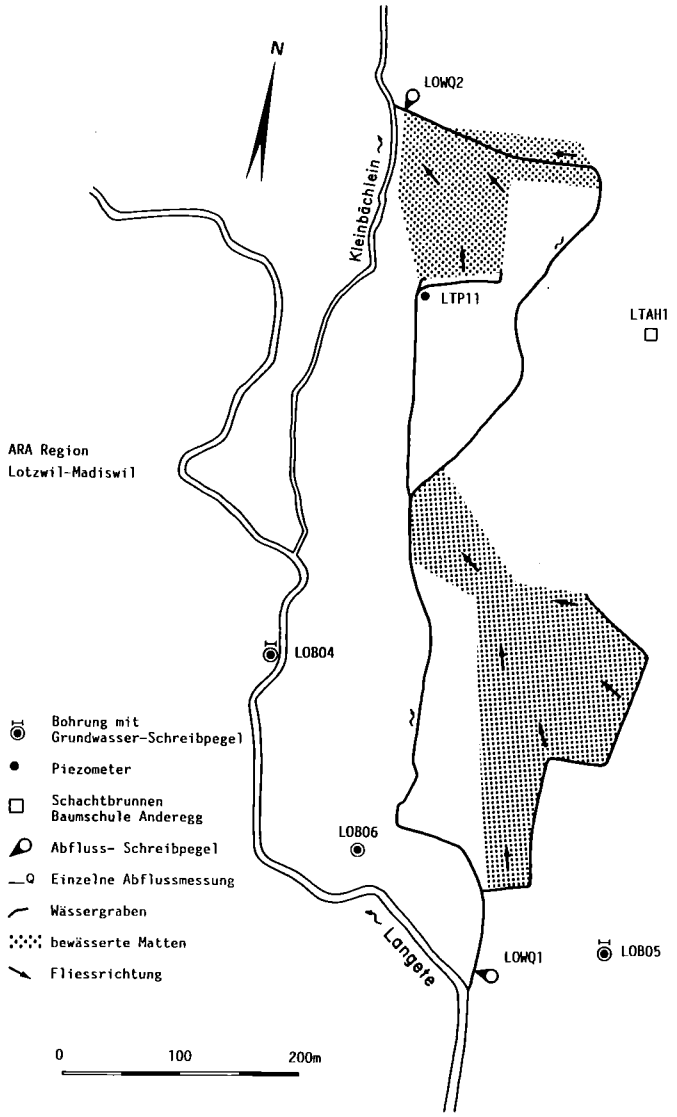


Die zufliessenden Wassermengen aus der Langete, die bei der Messstelle LMWQ1 mit Tauchstab-Messungen erhoben wurden, waren relativ konstant. Sie variierten zwischen 100 und 150 l/s. Dazu kam die Wassermenge vom kleinen seitlichen Bächlein, die bei der Messstelle LO010 gemessen wurde und im Mittel ca. 5 l/s betrug. Die aus dem Wässerungsgebiet abfliessenden Wassermengen wurden bei der Messstelle LMWQ2 ebenfalls mit Tauchstab-Messungen bestimmt. Sie schwankten zwischen 0 und 50 l/s. Somit versickerten während den Wässerungszeiten im Mittel ca. 100 l/s.

Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil

Dieses Wässerungsgebiet umfasst zwei Flächen, die zum Teil gleichzeitig, zum Teil nacheinander im Frühling und im Sommer, einmal auch im Herbst, während jeweils ca. 1 Woche bewässert wurden.

Fig. 4.5: Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil

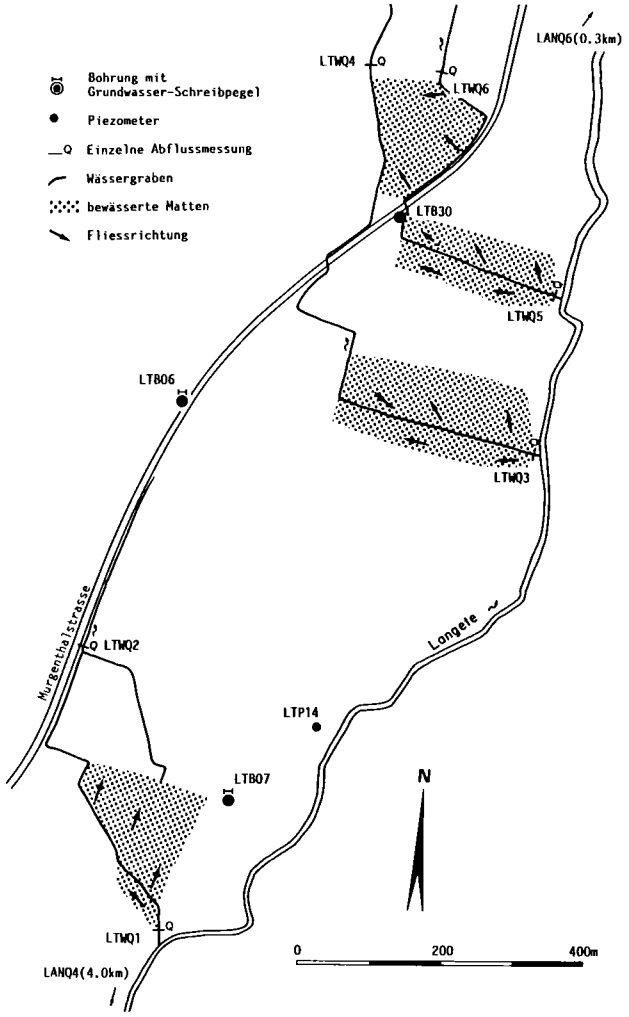


Die der Langete entnommenen Wassermengen wurden in der Abfluss-Messstation LOWQ1 kontinuierlich erhoben. Sie variierten im allgemeinen zwischen 150 und 300 l/s. Das nicht versickerte Wasser, in der Regel zwischen 0 und etwa 100 l/s, floss bei der Messstelle LOWQ2 in das Kleinbächlein, einen Seitenarm der Langete. Während den Wässerungen versickerten je nach Wässerungsfläche zwischen 50 bis 200 l/s.

Wässerungsgebiet Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal

Innerhalb dieses Wässerungsgebietes liegen vier Flächen, die unabhängig voneinander pro Jahr durchschnittlich ca. dreimal, meistens nur während ein bis zwei Tagen, bewässert wurden.

Fig. 4.6: Wässerungsgebiet Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal

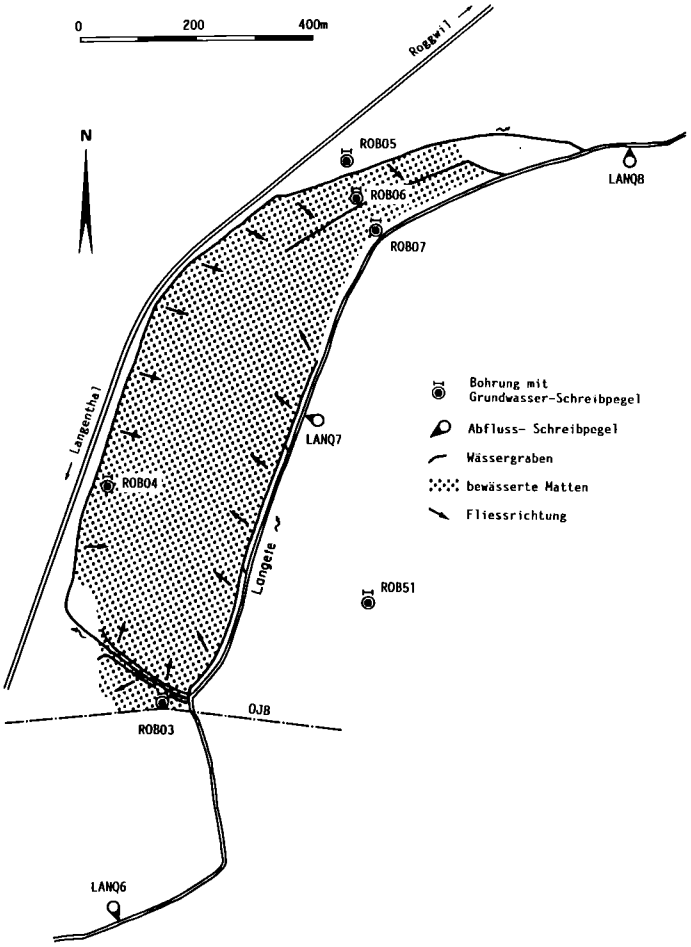


Die Wassermengen aus der Langete sind vereinzelt mit dem Tauchstab bei den Messstellen LTWQ1, LTWQ3 und LTWQ5 gemessen worden. Zusätzlich konnten sie indirekt aus der Abflussdifferenz zwischen den seitlichen Zuflüssen und den beiden Langete-Messstationen LANQ4 und LANQ6 abgeschätzt werden (vgl. Abschnitt 4.1.4). Die Wässermengen betrugen grösstenteils ca. 100 l/s. Das nicht versickerte Wasser kann über das Grabensystem in den Brunnbach gelangen, was wegen der relativ kleinen Zuflussmengen und kurzen Wässerungszeiten jedoch selten eintritt.

Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil

Das ausgedehnteste noch betriebene Wässerungsgebiet liegt im Gruenholz auf der Roggwiler-Terrasse. Jährlich wurde während der Untersuchungsperiode ca. vier- bis fünfmal während wenigen bis mehreren Tagen gewässert.

Fig. 4.7: Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil



Das Wasser kann an fünf verschiedenen Stellen aus der Langete in die Wässermatten geleitet werden. Das oberflächlich abfliessende, nicht versickerte Wasser gelangt in einen Sammelkanal und wird in die Langete zurückgeführt. Die den Wässermatten zufliessenden Mengen konnten aus der Differenz der in den beiden Abfluss-Messstationen LANQ6 und LANQ7 registrierten Wassermengen ermittelt werden, wobei die Infiltrationsleistung der Langete zu berücksichtigen war. Die im Sammelkanal abfliessenden Wassermengen ergaben sich analog aus den Daten der Abfluss-Messstationen LANQ7 und LANQ8.

Die zufliessenden Mengen variierten relativ stark, zwischen etwa 200 und 1500 l/s, die abfliessenden zwischen praktisch 0 und ca. 500 l/s. Die während den Wässerungen versickerten Mengen schwankten dementsprechend zwischen ca. 200 und 1000 l/s.

Zusammenstellung der durchgeführten Wiesenwässerungen

In Tabelle 4.2 werden die mittleren Versickerungsmengen und die Anzahl Wässerungstage der Wiesenwässerung der Jahre 1984 bis 1986 zusammengestellt.

Tab. 4.2: Wiesenwässerungen 1984 bis 1986

	MATTEHOF		ALLME		WÜESTIMATTE/ GROSSMATTE		GRUENHOLZ		TOTAL	
	At [d]	QW [l/s]	At [d]	QW [l/s]	At [d]	QW [l/s]	At [d]	QW [l/s]	At [d]	QW [l/s]
Frühling 1984	-	-	6	200	6	175	13	600	25	400
Sommer	6	100	13	75	14	100	12	325	45	150
Herbst/Winter	13	100	-	-	3	100	7	400	23	190
Σ At;Mittel QW	19	100	19	115	23	120	32	450	93	225
Frühling 1985	-	-	6	200	19	50	19	350	44	200
Sommer	-	-	7	125	20	50	14	200	41	115
Herbst/Winter	29	75	10	125	18	50	11	100	68	80
Σ At;Mittel QW	29	75	23	145	57	50	44	240	153	125
Frühling 1986	-	-	2	50	3	50	6	150	11	105
Sommer	-	-	3	50	14	100	5	600	22	205
Herbst/Winter	12	100	-	-	1	50	6	150	19	115
Σ At;Mittel QW	12	100	5	50	18	90	17	280	52	150
MITTEL 1984/85/86	20	90	16	120	33	75	31	320	99	160

At: Anzahl Wässerungstage

QW: Mittlere Versickerungsmengen während der Wässerungszeit

Die Wässerungen werden drei Zeitperioden zugeordnet: Vor Vegetationsbeginn dem Frühling, nach der Heuernte oder nach weiteren Schnitten dem Sommer und nach der Vegetationsperiode dem Herbst/Winter. Neben diesen Wässerungen fanden sporadisch noch vereinzelt, weitere unbedeutende statt, zum Teil auch auf Flächen ausserhalb der beschriebenen Wässerungsgebiete. Sie wurden für die weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt da ihre mittleren Versickerungsmengen zusammen weniger als 5 l/s betragen.

Für die folgenden Betrachtungen und Auswertungen wird angenommen, das versickerte Wasser gelange vollumfänglich ins Grundwasser. Die Wässerungsmengen werden der Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung gleichgesetzt. Im Jahresmittel bewirken die in Tabelle 4.2 aufgeführten Wiesenwässerungen eine Grundwasserneubildung zwischen 60 (1984) und 20 l/s (1986). Das sind nur gerade ca. 5 % der gesamten mittleren Grundwasserneubildung von ca. 1'000 l/s (vgl. Kapitel 6). Kurzfristig und örtlich betrachtet, ist der Anteil der Wiesenwässerungen grösser. Da die Wässerungen mit Ausnahme derjenigen in der Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal, und grossteils auch im Gebiet Allme, Lotzwil, jeweils rasch ein Ansteigen der Exfiltrationsmengen bewirken, bleibt der nutz-

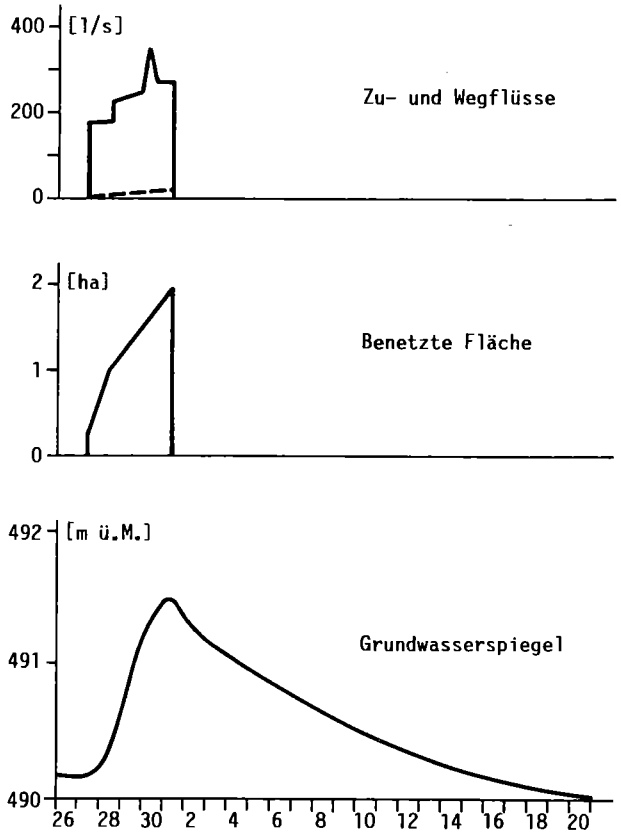
bare Grundwasserzufluss aus Wiesenwässerung sogar während der Wässerzeiten mehrheitlich relativ bescheiden (vgl. Abschnitt 7.3).

Zur Illustration der Dynamik von Wiesenwässerungen werden zwei unterschiedliche Beispiele beschrieben. Sie unterscheiden sich vor allem bezüglich des Vermögens, das versickerte Wässerungswasser zu speichern. Im ersten Beispiel aus dem Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil kann das versickerte Wasser vollumfänglich gespeichert werden und allmählich unterirdisch abfliessen, während im zweiten vom Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil, der Grossteil des versickerten Wassers nahezu gleichzeitig aus dem Grundwasserleiter exfiltriert und somit keine wirksame Grundwasserneubildung ergibt.

Wiesenwässerung vom 27.04. bis 01.05.84 in Allme, Lotzwil

Im Frühling 1984 wurde in einem Teil des Wässerungsgebiets Allme vier Tage ununterbrochen gewässert. Die dem Wässerungsgebiet zugeführten und die nicht versickerten Wassermengen, die kontinuierliche Zunahme der berieselten Fläche sowie die Ganglinie des Grundwasserspiegels bei Messstation LOB05 gehen aus Figur 4.8, die Situation aus den Figuren 4.5 und 4.9 hervor.

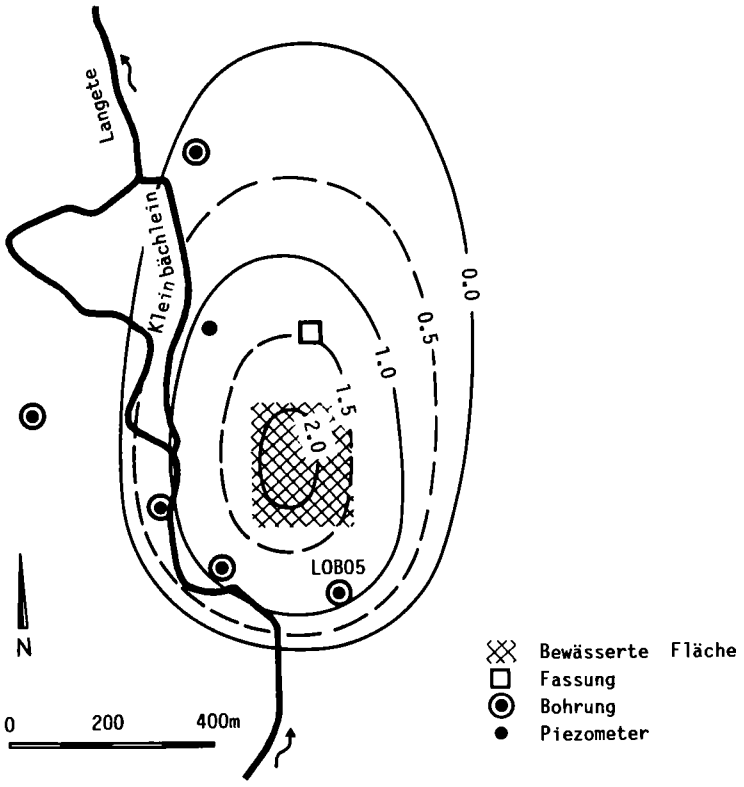
Fig. 4.8: Wiesenwässerung vom 27.04. bis 01.05.1984 im Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil. Zu- und wegfliessende Wassermengen, berieselte Fläche, Ganglinie des Grundwasserspiegels in Messstation LOB05



Die versickerte Wassermenge (Zufluss minus Wegfluss) war relativ konstant und betrug durchschnittlich 230 l/s. Insgesamt wurden 75'000 m^3 Wasser versickert, was einem mittleren jährlichen Zufluss von 2.4 l/s entspricht. Die benetzte Fläche dehnte sich ziemlich gleichmässig auf 20'000 m^2 aus. Die mittlere Wässerungsrate, definiert als Quotient aus der mittleren täglichen Versickerungsmenge und der mittleren berieselten Fläche, erreichte am 28.04. ca. 1.6 m^3/m^2d, am 01.05. ca. 1.2 m^3/m^2d. Der Grundwasserspiegel bei der Messstation LOB05 stieg bis am 01.05. kontinuierlich an, um total 1.35 m und fiel anschliessend innerhalb 2 Wochen auf den ursprünglichen Stand zurück, zu Beginn mehr als um 0.2 m pro Tag.

Der Auf- und Abbau des durch die Wässerung im Untergrund gebildeten Wasserbergs verläuft zeitlich ähnlich wie die beschriebene Ganglinie des Grundwasserspiegels. Form und Ausdehnung unmittelbar nach Wässerende (01.05.) sind aus Figur 4.9, welche auch das Messstellennetz zeigt, ersichtlich. Im Zentrum der berieselten Fläche dürfte der maximale Grundwasserspiegel-Anstieg über 2 m betragen haben. Die seitliche Ausdehnung erreichte ca. 700 m bzw. 1'100 m.

Fig. 4.9: Wiesenwässerung vom 27.4. bis 1.5.1984 im Wässerungsgebiet Allme, Lotzwil. Maximaler Grundwasserspiegel-Anstieg in m



Der entsprechende Anstieg des Grundwasserspiegels entlang des Kleinbächleins, das streckenweise weniger als 1 m über dem Grundwasserspiegel liegt, ist für die Exfiltration von Bewässerungswasser bedeutungsvoll. Während der betrachteten Wässerung erreichte der angestiegene Grundwasserspiegel, wenn auch zum

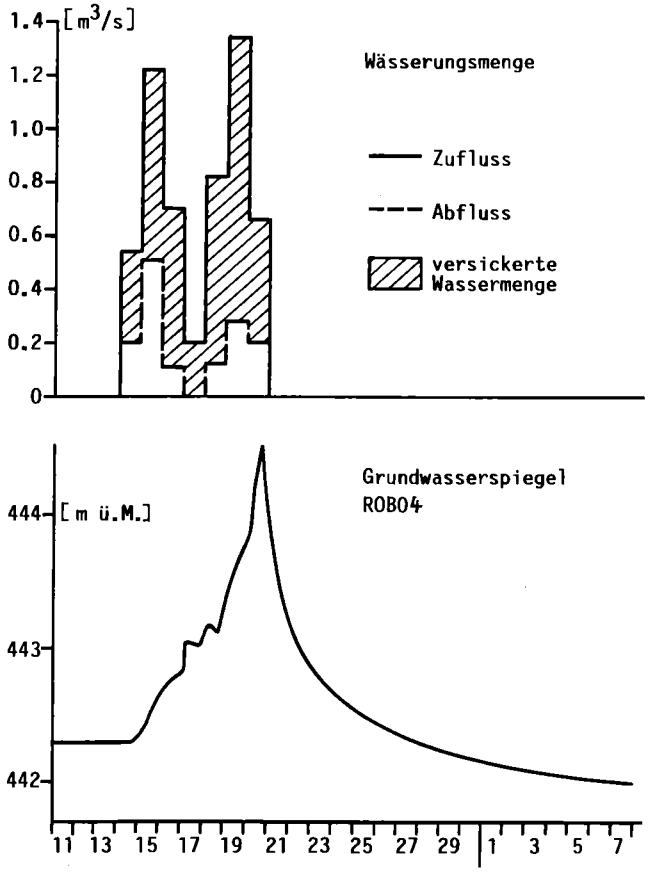
Teil nur knapp, den Wasserspiegel des Kleinbächleins nicht. Somit fand keine Exfiltration statt; die gesamte versickerte Wassermenge wurde im Grundwasserleiter gespeichert. Das Volumen des Wasserbergs unmittelbar nach Wässerungsende betrug ca. 600'000 m^3. Bei einem Speicherkoeffizienten von 0.12 erfordert dies eine Wassermenge von 72'000 m^3 und entspricht sehr gut der Differenz zwischen den gemessenen Zu- und Wegflüssen.

Eine länger anhaltende oder eine intensivere Wässerung mit einem höheren Wasserberg würde in erster Linie zu einer Grundwasser-Exfiltration in das Kleinbächlein führen und die Grundwasseranreicherung nur unbedeutend fördern.

Wiesenwässerung vom 14.04. bis 20.04.84 im Gruenholz, Roggwil

Zwischen dem 14.04. und 20.04. wurde im Wässerungsgebiet Gruenholz, abgesehen von zwei Unterbrüchen in den Nächten vom 16./17. und 17./18. April, permanent gewässert. Die Tagesmittelwerte der gemessenen, massgebenden Wassermengen und die Ganglinie des Grundwasserspiegels der Messstation ROB04 gehen aus Figur 4.10 hervor. Die Oertlichkeiten sind aus Figur 4.7 ersichtlich.

Fig. 4.10: Wiesenwässerung vom 14. bis 20. April 1984 im Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil. Zu-, abfliessende und versickerte Wassermengen (Tagesmittel), Ganglinien des Grundwasserspiegels in Messstation ROB04



Die versickerte Wässermenge (Zufluss minus Wegfluss) variierte im Tagesmittel zwischen ca. 200 l/s und 1'050 l/s und erreichte zeitweise praktisch die Hälfte des Langete-Abflusses, der bei Messstation LANQ6 für diesen Zeitraum 2.12 m^3/s betrug. Im Mittel versickerten 600 l/s Wasser, was einer Wassermenge von ca. 350'000 m^3 entspricht. Umgerechnet auf einen mittleren jährlichen Zufluss ergibt dies 12 l/s. Mehrheitlich wurde der nordwestliche Bereich des Wässerungsgebietes bewässert. Die berieselte Fläche variierte relativ stark und konnte nur generell erfasst werden. Sie betrug ca. 75'000 m^2, was eine mittlere Wässerungsrate von 0.7 m^3/m^2d ergibt.

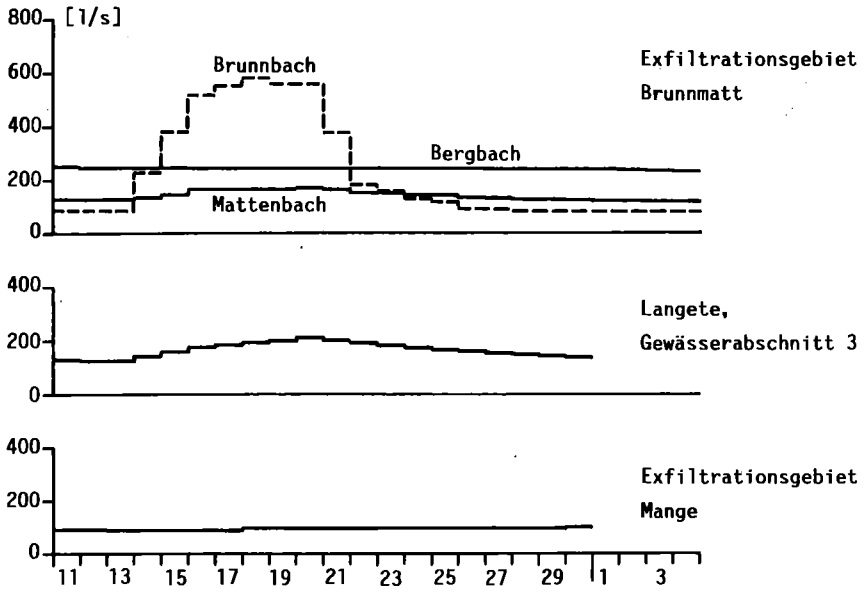
Die Messstation ROB04 befand sich während der ersten drei Tagen am Rand der benetzten Fläche, anschliessend mehrheitlich innerhalb. Der Grundwasserspiegel stieg in den ersten fünf Tagen um ca. 0.9 m an, anschliessend nochmals um ca. 1.4 m. Unmittelbar nach Wässerungsende ging er sehr rasch zurück: am ersten Tag um ca. 1.2 m; nach einer Woche war bereits wieder der Ausgangszustand erreicht. Der Anreicherungserfolg der sehr intensiven Wiesenwässerung war bereits nach einer Woche wieder verschwunden.

Im Gegensatz zur beschriebenen Wiesenwässerung in Allme, Lotzwil, wurde durch diejenige im Gruenholz praktisch gleichzeitig eine nahmhafte Steigerung der Grundwasser-Exfiltration ausgelöst. Dies erklärt auch den raschen Rückgang des Grundwasserspiegels.

Figur 4.11 zeigt im Detail die mit dem Grundwassermodell nachvollzogene Reaktionen in den umliegenden Exfiltrationsgebieten. Vor allem die Grundwasseraustritte in der Brunnmatt und im Gewässerabschnitt 3 der Langete nehmen stark zu, während die Quellschüttungen der Mange nur geringfügig ansteigen. Ungefähr 65% exfiltrieren in der Brunnmatt (vor allem in den Brunnbach), ca. 30% in die Langete und 5% in der Mange.

Bereits während der Wässerung steigen die Exfiltrationsmengen beachtlich an. Am Ende der Wässerung sind im Untergrund nur 120'000 m3 Wasser zusätzlich gespeichert, dreimal weniger als total versickert wurden, so dass bereits wenige Tage nach Wässerungsende praktisch die gesamte versickerte Wassermenge wieder an die Oberfläche getreten ist. Die mit dem Grundwassermodell nachvollzoge Wässerungs-Exfiltrationsdynamik bestätigt sich auch mit den permanenten Wasserstandsmessungen im Grundwasserleiter der Roggwiler-Terrasse und an den Quellbächen der Brunnmatt [43].

Fig. 4.11: Wiesenwässerung vom 14. bis 20. April 1984 im Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil. Auswirkungen auf die umliegenden Exfiltrationsgebiete: Simulierte Exfiltrationsmengen (vgl. Fig. 4.10)



4.1.6 Grundwasserneubildung aus Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald

Seit Jahrzehnten wird bei Langete-Hochwasser, die einen bestimmten Wasserstand überschreiten, ein Teil der Hochwasserfracht in den Hardwald geleitet, wo sie versickert und analog wie die Wiesenwässerungen zu kurzfristigen Grundwasserspiegel-Anstiegen bis ca. vier Metern führt. Da im Hardwald die wichtigsten Trink- und Brauchwasserfassungen des WUL liegen, werden die Fassungsverhältnisse entsprechend rasch beeinflusst. Von der Menge her gesehen, ist dies durchaus erwünscht, in qualitativer Hinsicht jedoch problematisch.

Seit Inbetriebnahme des heutigen Entlastungskanals in den Hardwald werden die abgeleiteten Hochwasserfrachten durch das Bauamt von Langenthal abgeschätzt. Obschon die Aufzeichnungen der 1985 installierten Abfluss-Messstation zeigen, dass die geschätzten Frachten durchschnittlich ca. 2.5 mal zu hoch liegen, sind vergleichende Betrachtungen zulässig. In Tabelle 4.3 werden die Anzahl der Hochwasserentlastungen pro Jahr und die entsprechenden geschätzten Wassermengen aufgeführt.

Tab. 4.3: Langete-Hochwasserentlastungen in den Hardwald: Ereignisse seit 1976 mit den geschätzten in den Hardwald abgeleiteten Wassermengen gemäss den Angaben des Bauamts Langenthal

Jahr	Anzahl Ereignisse [-]	Geschätze Wassermengen [m^3]
1976	-	
1977	1	1'800'000
1978	1	400'000
1979	-	
1980	1	2'300'000
1981	9	1'100'000 875'000 740'000 740'000 720'000 650'000 430'000 150'000 70'000 Σ = 5'475'000
1982	4	650'000 150'000 135'000 100'000 Σ = 1'035'000
1983	3	650'000 270'000 250'000 Σ = 1'170'000
1984	2	1'500'000 180'000 Σ = 1'680'000
1985	2	900'000 500'000 Σ = 1'400'000
1986	10	425'000 350'000 250'000 150'000 120'000 120'000 100'000 100'000 100'000 60'000 Σ = 1'775'000
1987	6	900'000 450'000 450'000 300'000 240'000 80'000 Σ = 2'420'000
1988	6	780'000 290'000 150'000 140'000 80'000 50'000 Σ = 1'490'000
TOTAL	45	Σ =20'945'000

Die geschätzten Wassermengen variieren bei einem Mittelwert von 465'000 m^3 zwischen 50'000 und 2'300'000 m^3. Ereignisse mit kleinen Wassermengen sind häufiger als solche mit grossen. Fast die Hälfte der geschätzten Wassermengen liegen unter 250'000 m^3, lediglich vier über 1'000'000 m^3.

Die Jahresmengen von 1976 bis 1988 variieren zwischen 0 und 5'475'000 m^3, der Mittelwert beträgt 1'610'000 m^3. Diejenigen der Untersuchungsjahre liegen sehr nahe beieinander, zwischen 1'400'000 und 1'775'000 m^3. Ihr Mittelwert entspricht annähernd demjenigen der 13 Jahre 1976 bis 1988.

Nach anfänglichen Schwierigkeiten werden seit dem Herbst 1986 die Wasserstände im Entlastungskanal mit der Abfluss-Messstation LTEQ1 (Standort vgl. Beilage I) zuverlässig aufgezeichnet. Der jeweilige Höchstwasserstand pro Ereignis wird zudem zur Kontrolle mit einem Grenzwertpegel festgehalten. Zusammen mit der messtechnisch ermittelten Pegel-Abflussbeziehung können die in den Hardwald abgeleiteten Hochwassermengen relativ genau berechnet werden. Sie sind durchschnittlich zweieinhalbmal kleiner als die geschätzten in Tabelle 4.3 und bewirken eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung QH von 21 l/s, 18 l/s und 22 l/s in den Jahren 1984 bis 1986.

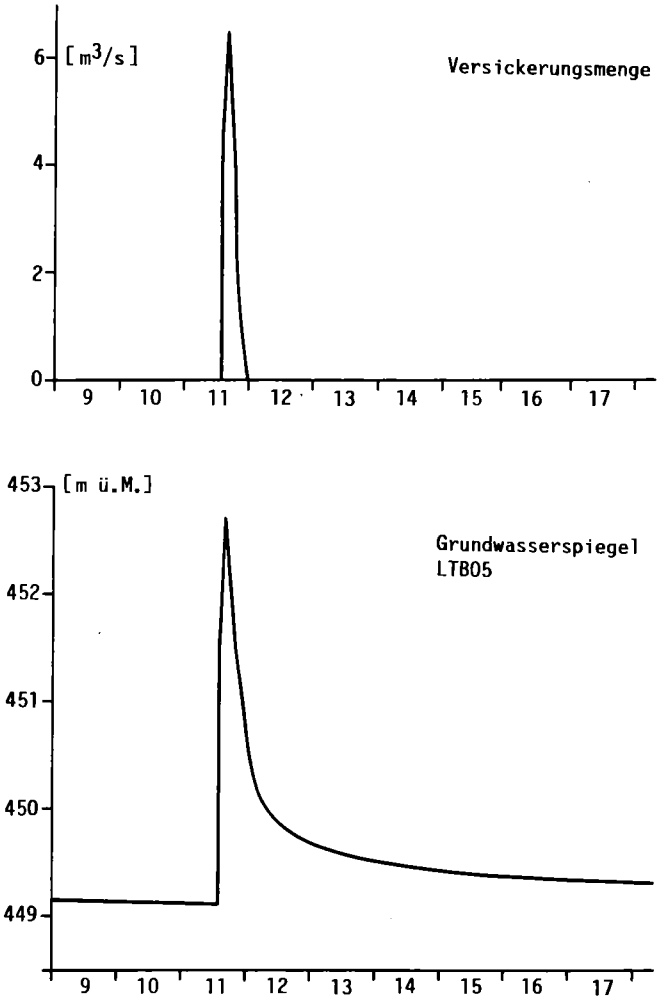
Die Dynamik der Hochwasserversickerung ist vergleichbar mit derjenigen der Wiesenwässerung. Als Beispiel wird das Ereignis vom 10./11.02.87 beschrieben, das bezüglich Hochwasserfracht ungefähr einem mittleren entspricht. Der zeitliche Verlauf des Abflusses im Entlastungskanal und die Reaktion des Grundwasserspiegels bei der Messstation LTB05, die sich im Versickerungsgebiet befindet, gehen aus Figur 4.12 hervor.

Die Schleusen beim Gemeindehaus Langenthal mussten am 10. Februar kurz vor Mittag geöffnet werden. Die anschliessende Hochwasserentlastung dauerte ca. 12 Stunden, d.h. bis Mitternacht. Am frühen Morgen des 11. Februars wurden die Schleusen wieder geschlossen.

Die maximale Abflussmenge im Entlastungskanal wurde um ca. 15.00 Uhr registriert und betrug 6.5 m^3/s. Die gesamte Hochwasserfracht ergab 120'000 m^3, was bezogen auf die Ereignisdauer einer mittleren Abflussmenge von 2 m^3/s und einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von ca. 4 l/s entspricht. Der Grundwasserspiegel stieg bei LTB05 im Versickerungsgebiet innerhalb weniger Stunden impulsartig um 3.6 m an, ging anschliessend ebenso rasch um ca. 2.5 m zurück. Etwa drei Tage nach der Hochwasserentlastung entsprach der Grundwasserspiegelrückgang wieder demjenigen vor dem hochwasserbedingten Anstieg, jedoch auf einem ca. 0.3 m höheren Niveau. Bei der benachbarten Grundwasserfassung AANF1, die ausserhalb der Versickerungsfläche, ca. 200 m neben der Messstation LTB05 liegt, betrug der grösste Anstieg noch 1 m.

Im Frühjahr 1992 wird der Langete-Hochwasserentlastungsstollen fertig sein [10]. Damit wird dieser Neubildungsanteil praktisch wegfallen (vgl. Abschnitt 1.1).

Fig. 4.12: Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald vom 10./11.Februar 1987: Abflussmenge im Entlastungskanal, Ganglinie des Grundwasserspiegels der Messstation LTB05



4.2 Grundwasserwegflüsse

4.2.1 Unterirdische Grundwasserwegflüsse

Die unterirdischen Wegflüsse können naturgemäss nicht direkt gemessen, sondern müssen wie die unterirdischen Zuflüsse indirekt und mit einer gewissen Einbusse an Genauigkeit bestimmt werden (vgl. Abschnitt 4.1.1). Bei der Abgrenzung des Bilanzierungsgebietes wurde daher darauf geachtet, dass sie möglichst klein sind und mengenmässig nicht ins Gewicht fallen.

Im Bleienbachtal wurde daher für die Bestimmung der Grundwasserzu- und -wegflüsse der Rand des Bilanzierungsgebietes identisch mit der mittleren Wasserscheide im Bereich des Torfsees bei Allme, Langenthal, gewählt. Der mittlere unterirdische Wasseraustausch über diesen Rand ist definitionsgemäss somit null.

Die Grenze des Untersuchungsgebietes wurde aus modelltechnischen Gründen zwischen Bleienbach und Thörigen, ausserhalb des Einzugsgebietes der Langeten festgelegt (vgl. Abschnitt 1.2 und Kapitel 5). Über diesen Rand fliesst eine relativ kleine Grundwassermenge von etwa 50 l/s Richtung Thörigen. Für die Untersuchungen des Langetentals ist sie nicht weiter relevant und wird in [3] beschrieben.

Der einzige eigentliche unterirdische Wegfluss aus dem Langetental erfolgt zwischen den Hügelzügen des Spichigwalds und des Munibergs bei Vorstadt, Aarwangen, Richtung Nordwesten. Der Durchflussquerschnitt ist sehr klein ca. 50 m^2. Das Gefälle des Grundwasserspiegels beträgt ca. 5%. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von ca. 1 mm/s erreicht der Grundwasserwegfluss ca. 5 l/s, was auch durch die Resultate des Grundwassermodells bestätigt wird. Er ist somit, verglichen mit den gesamten Zu- und Wegflüssen im Untersuchungsgebiet von durchschnittlich 1'000 l/s vernachlässigbar klein.

4.2.2 Grundwasserexfiltration

Grundwasserexfiltration findet vor allem in die Langete (Gewässerabschnitte 1 und 3) sowie in die Quellbäche der Brunnmatt und Mange statt (vgl. Abschnitt 3.6).

Grundwasserexfiltration in die Langete

Im Gewässerabschnitt 1 sind die Exfiltrationsmengen stark abhängig von der Lage des Grundwasserspiegels bzw. seinem Gefälle zum Langetespiegel. Die grössten Exfiltrationsmengen treten auf bei hohen Grundwasserständen und Niederwasser der Langete. In Trockenzeiten, wenn die Grundwasserstände stetig zurückgehen, nimmt auch die Exfiltrationsmenge stetig ab. Im Extremfall, bei tiefen Grundwasserständen und Hochwasser in der Langete kann sogar ein Infiltrationsüberschuss eintreten.

Differenzmessungen zwischen den Messstellen LANQ1 (626.221/24) und LANQ4 (626.226/Q4) und gleichzeitigen Abflussmessungen in den seitlichen Zuflüssen bei relativ tiefen Grundwasser- und Langetespiegeln ergaben Exfiltrationsüberschüsse zwischen 20 l/s und 50 l/s. Extrapoliert auf höhere Wasserstände

dürfte im Jahresmittel der Exfiltrationsüberschuss im Gewässerabschnitt 1 etwa 100 bis 150 l/s betragen.

Im Gewässerabschnitt 3 ist die Exfiltrationsmenge mit Differenzmessungen in den Langete-Messstellen LANQ8 (628.232/13) und LANQ9 (628.233/99) ermittelt worden. Die vier Abflussmesskampagnen, aus Genauigkeitsgründen wiederum bei mittleren bis kleinen Abflussmengen durchgeführt, ergaben Exfiltrationsmengen zwischen 80 und 120 l/s. Wie im Gewässerabschnitt 1 ist auch hier die Exfiltrationsmenge nicht konstant, sondern hängt ab von den Wasserspiegelunterschieden zwischen Langete und Grundwasser. Sie schwankt jedoch weniger stark als zwischen Kleindietwil und Lotzwil. Im Jahresmittel liegt sie mit ca. 100 bis 150 l/s in der gleichen Grössenordnung wie im Gewässerabschnitt 1.

Grundwasserexfiltration in die Rot

Durch den östlichen Terrassenrand bei Roggwil sickert Grundwasser aus der Roggwiler-Terrasse in die Rot. Wegen den schlechten Durchlässigkeitsverhältnissen beträgt diese Exfiltrationsmenge nur wenige l/s. Sie lässt sich deshalb nicht mit Differenzmessungen ermitteln. Die entsprechenden, mit dem Grundwassermodell berechneten Exfiltrationsmengen sind ziemlich konstant und betragen im Mittel ca. 10 l/s.

Grundwasserexfiltration Brunnmatt

Die vom WEA betriebenen vier Abfluss-Messstationen erlauben, die Grundwasserexfiltrationen in die 3 Quellbäche der Brunnmatt kontinuierlich relativ gut zu erfassen (vgl. Abschnitt 3.6.4). Die Jahrbuchblätter der Wasserstände und Abflussmengen sowie die Exfiltrationsmengen für die Jahre 1984 bis 1989 werden in [43] publiziert.

In Tabelle 4.4 sind die Jahresmittel der Abflussmengen der drei Quellbäche und die entsprechenden Exfiltrationsmengen enthalten. In Anbetracht, dass vor allem der Brunnbach bei Hochwasser Fremdwasser führt und die Abflussmengen des Brunnbachs auch diejenigen des Mattenbachs enthalten, wurden die Exfiltrationsmengen als Summen der Kolonnen 1 und 3 bzw. 2 und 3 berechnet und ihre Mittelwerte als massgebend betrachtet.

Tab. 4.4: Exfiltrationsgebiet Brunnmatt: Jahresmittelwerte 1984 bis 1986 der Abfluss- und Exfiltrationsmengen der drei Quellbäche oberhalb der Messstationen.

Jahr	Abflussmengen in [l/s]			Exfiltrationsmengen [l/s]		
	Brunnbach 1	Mattenbach 2	Bergbach 3	1+3	2+3	Mittel
1984	97	80	223	320	303	312
1985	115	78	178	293	256	275
1986	183	114	199	382	313	348
Mittel	132	91	200	332	291	312

Erwartungsgemäss sind die Exfiltrationsmengen im Nassjahr 1986 am grössten, im relativ trockenen Jahr 1985 am kleinsten. Der Streubereich der Mittelwerte ist jedoch raltiv klein.

Der Abfluss des Brunnbachs oberhalb der Messstation schwankt am stärksten, zwischen praktisch null bei tiefen Grundwasserständen und mehreren Hundert l/s während intensiven Wiesenwässerungen im Gruenholz, Roggwil. Er führt zeitweise auch Fremdwasser. Intensive Wiesenwässerungen im Gruenholz dürften den Abfluss vor allem im trockenen Jahr 1985 relativ stark erhöht haben. Der Abfluss des Mattenbachs, der z.T. auch noch auf Wiesenwässerungen im Gruenholz reagiert, variierte in den drei Jahren zwischen ca. 20 und 350 l/s. Die Wasserführung des Bergbachs ist ausgeglichener und schwankt lediglich zwischen ca. 120 und 300 l/s. Der minimale Abfluss der drei Bäche war während den tiefen Grundwasserständen Mitte Dezember 1985 festzustellen und betrug ca. 200 l/s. Der maximale trat während den intensiven Wässerungen im Gruenholz im Monat April 1984 auf und betrug ca. 800 l/s.

Unterhalb der Messstationen exfiltiert in der Brunnmatt mindestens zeitweise und örtlich über das Drainagesystem der Fa. Gugelmann noch Grundwasser in den Brunnbach. Zudem wird das Ueberlaufwasser der Fassungsanlagen der Fa. Gugelmann ebenfalls unterhalb der Messstation in den Brunnbach geleitet. Diese zusätzlichen Mengen dürften im Mittel zwischen ca. 40 und 80 l/s variieren.

Grundwasserexfiltration Mange

Die Schüttungen der von öffentlichen Wasserversorgungen gefassten Grundwasseraustritte Neue Mange, Alte Mange und Kiltberg (vgl. Abschnitt 3.6.4) werden kontinuierlich oder periodisch erhoben. Die Jahresmittelwerte 1984 bis 1986 gehen aus Tabelle 4.5 hervor.

Tab. 4.5: Schüttungsmengen der gefassten Grundwasseraustritte Mange und Kiltberg: Jahresmittelwerte 1984 bis 1986

Jahr	Schüttungen in [l/s]			
	Neue Mange	Alte Mange	Kiltberg	Total
1984	84	5	4	93
1985	81	5	3	89
1986	84	5	3	92
Mittel	83	5	3	91

Ungefähr 90% der Schüttungsmengen liefert die Fassungsanlage der Neuen Mange. Die Quelle Kiltberg wurde 1987 saniert, weil sich u.a. zeigte, dass das in diesem Bereich austretende Grundwasser nicht vollständig gefasst wurde. Die effektive Exfiltrationsmenge der Jahre 1984 bis 1986 dürfte rund doppelt so gross wie die gemessene gewesen sein.

Unabhängig von stark unterschiedlichen Jahresniederschlägen und trotz zum Teil massiver Wiesenwässerungen im Gruenholz schwanken die Schüttungsmengen im allgemeinen wenig. So variierte z.B. die Schüttung der Neuen Mange lediglich zwischen 63 l/s (Dezember 1985) und 115 l/s (Februar 1984). Offensichtlich sind diese Exfiltrationsmengen bedeutend konstanter als diejenigen in der Brunnmatt.

Das Wasser der zur Zeit nicht mehr genutzten Fassungsanlagen Kiltberg der Fa. Gugelmann fliesst durch Überlaufe in den Brunnbach, Mange. Mit Differenzmessungen bei den Messstellen R0001 und BRUQ4 (Situation vgl. Fig. 3.11) können die Ueberlaufmengen sowie die z.T. auch diffus austretenden Grundwassermengen abgeschätzt werden. Die 13 durchgeführten Differenzmessungen ergaben Grundwasserexfiltrationen zwischen 70 und 140 l/s. Der Mittelwert beträgt 105 l/s und dürfte ungefähr den jährlichen mittleren Exfiltrationsmengen entsprechen.

Weitere kleine diffuse Grundwasseraustritte ausserhalb der Messstellen dürften im Jahresmittel in der Grössenordnung von 10 l/s liegen, so dass für das gesamte Exfiltrationsgebiet Mange die Jahresmittelwerte 1984/86 der Exfiltrationsmengen zwischen 190 und 210 l/s variieren.

4.2.3 Grundwasserentnahmen

Tab. 4.6: Grundwasserentnahmen in den öffentlichen Trink- und Brauchwasserfassungen (vgl. Tab. 3.10): Jahresmittelwerte 1984 bis 1986

Oeffentliche Fassungsanlage	1984 [l/s]	1985 [l/s]	1986 [l/s]	Mittel [l/s]
Quellen Madiswil	29	24	32	28
PW Oberfeld	3	3	3	3
PW Underi Ey	1	1	1	1
PW Winkelacker	5	4	4	4
PW Tannwäldli	6	8	7	7
PW Hard I	20	29	7	19
PW Hard II	18	12	21	17
PW Hard III	9	14	20	14
PW Unterhard	6	6	5	6
PW Mumenthal	5	7	6	6
PW ARA Langenthal	1	1	1	1
Quellen Mange/ Kiltberg	35	32	31	33
Total	138	141	138	139

In der Tabelle 4.6 sind die Jahresmittelwerte 1984 bis 1986 der von den öffentlichen Wasserversorgungen (Situation vgl. Beilage I) geförderten Entnahmemengen aufgeführt. Nicht enthalten sind die in Quellen der seitlichen Einzugsgebiete gefassten Wassermengen von gesamthaft 10 bis 20 l/s.

Neben den öffentlichen Wasserversorgungen gewinnen auch einige Industriebetriebe Grundwasser. Die Jahresmittelwerte der Entnahmemengen betragen für 1984 bis 1986 ca. 20 bis 40 l/s.

Die Jahresmittelwerte der Grundwasserentnahmen sind erwartungsgemäss ziemlich konstant. Auch die Monatsmittelwerte weisen nur geringfügige Schwankungen auf. In den Sommermonaten liegen sie bis zu 20 l/s über dem Mittelwert, in den Wintermonaten etwa gleichviel darunter.

4.3 Speicheränderung

Das im Grundwasserleiter gespeicherte Wasservolumen ist ähnlich wie die Grundwasserzu- und -wegflüsse gewissen Schwankungen unterworfen, es treten sog. Speicheränderungen auf, denn die Grundwasserzuflüsse sind im allgemeinen zur gleichen Zeit nicht gleich gross wie die Wegflüsse. Überwiegen die Zuflüsse, steigt der Grundwasserspiegel an und es findet eine Grundwasserspeicherung statt (positive Speicheränderung); überwiegen die Wegflüsse, geht der Grundwasserspiegel zurück und es wird Grundwasser gezehrt (negative Speicheränderung).

Die Speicheränderung kann ebenfalls unabhängig vom Grundwassermodell berechnet werden, entweder aus der Differenz der Zu- und Wegflüsse oder bei bekannten Speicherkoeffizienten aus den Grundwasserspiegel-Schwankungen. Die letztgenannte Methode ist unabhängig von der Ermittlung der Zu- und Wegflüsse gemäss den Abschnitten 4.1 und 4.2 und bietet deshalb eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit. Gestützt auf die Aufzeichnungen der bis zu 30 gleichzeitig betriebenen Grundwasser-Schreibpegel (vgl. Abschnitt 3.5.1) können die mittleren Jahresdifferenzen der Grundwasserspiegel abgeschätzt werden. Die daraus, mit einem mittleren Speicherkoeffizient von 9 % (vgl. Abschnitt 2.5.2) und einer Spiegelfläche von 19.5 km^2 (vgl. Abschnitt 4.1.2) berechneten Speicheränderungen sind in Tabelle 4.7, auf 5 l/s gerundet, aufgeführt.

Tab. 4.7: Mittlere Jahresdifferenzen der Grundwasserspiegel und Speicheränderungen der Jahre 1984 bis 1986

Jahr	mittlere Jahresdifferenzen der Grundwasserspiegel [m]	Speicheränderung [l/s]
1984	+0.1	+ 5
1985	-0.6	-35
1986	+1.0	+55
Mittel	+0.5	+10

Ende 1984 war der Grundwasserspiegel durchschnittlich 0.1 m, Ende 1986 1.0 m höher als am Anfang dieser Jahre, d.h. im Mittel überwogen die Zuflüsse die Wegflüsse und zwar um rund 5 bzw. 55 l/s. 1985 war es gerade umgekehrt, der Grundwasserspiegel lag am Jahresende durchschnittlich 0.6 m tiefer als am Jahresbeginn, was einer mittleren Grundwasserzehrung von ca. 35 l/s entspricht.

Im Mittel der dreijährigen Untersuchungsperiode stieg der Grundwasserspiegel um ca. 0.5 m, d.h. insgesamt überwogen die Grundwasserzuflüsse um ca. 10 l/s.

Im Jahresmittel sind die Speicheränderungen im allgemeinen relativ klein und fallen für Grundwasserbilanzen von einem oder mehreren Jahren kaum ins Gewicht. Kurzfristig können sie jedoch, vor allem bei Grundwasserspiegel-Anstiegen während massiven Niederschlagsversickerungen, bedeutend werden. So betrugen sie z.B. im Februar 1984 ca. 770 l/s. Während Trockenzeiten ohne direkte Grundwasserneubildung beträgt die Grundwasserzehrung bei einem Grundwasserspiegel-Rückgang von 1 cm/d etwas mehr als 200 l/s.

5. GRUNDWASSERMODELL LANGETENTAL

5.1 Aufbau und Betrieb des Grundwassermodells

Das Grundwasser-Strömungsmodell, kurz Grundwassermodell Langetental genannt, basiert auf den an der VAW entwickelten [47], im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Wasserhaushalt ergänzten [2] und erfolgreich eingesetzten Computerprogrammen für die numerischen Simulationen der Grundwasserströmungen. Es löst die Differentialgleichung der Grundwasserströmung für den zweidimensionalen, horizontal-ebenen Fall mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente.

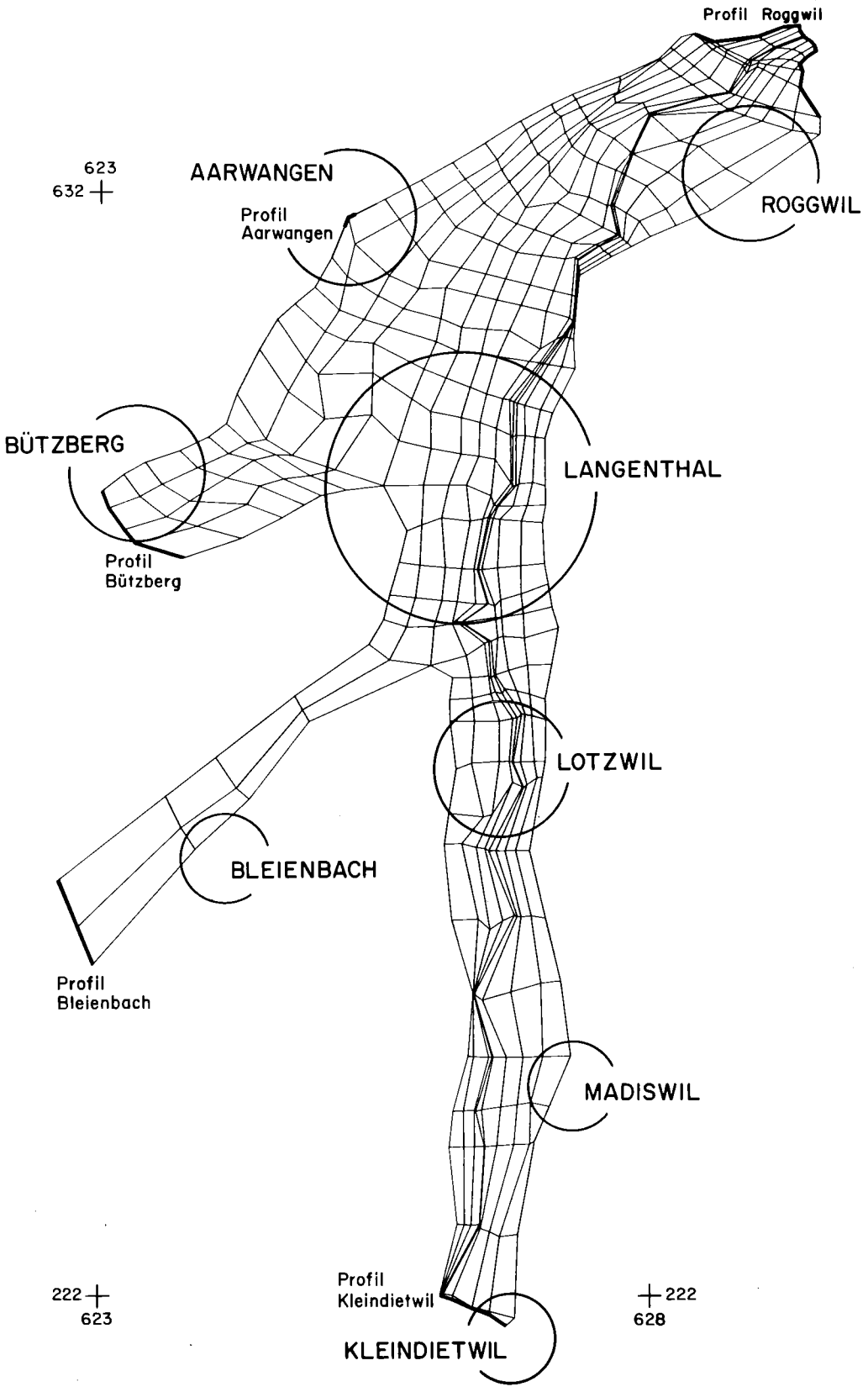
Obschon der reale Grundwasserleiter dreidimensional ist, sind für regionale Ueberlegungen zweidimensionale, horizontal-ebene Modellberechnungen zulässig, da die betrachtete horizontale Ausdehnung um ein Vielfaches grösser ist als die vertikale. Dies gilt auch weitgehend dann, wenn die Durchlässigkeitsverhältnisse wie in unserem Fall (vgl. Abschnitt 2.5.1) über die Tiefe stark variieren, weil für rein mengenmässige Betrachtungen der Grundwasserfluss über die gesamte Mächtigkeit interessiert und Geschwindigkeitsunterschiede des Wassers innerhalb der Grundwassermächtigkeit nicht relevant sind.

Figur 5.1 zeigt, wie der untersuchte Grundwasserleiter für die Modellberechnungen diskretisiert worden ist. Das Modellnetz umfasst 469 viereckige Elemente und 534 Knoten. Der seitliche Modellrand entspricht relativ gut der mittleren seitlichen Begrenzung des Grundwasserleiters. Es wird ein weiteres Mal darauf hingewiesen, dass aus modelltechnischen Gründen die Grenzen des Grundwassermodells im Bleienbachtal nordöstlich Thörigen gewählt wurde. Die Netzeinteilung ist so vorgenommen worden, dass die Längsseiten der Elemente generell der Strömungsrichtung des Grundwassers folgen und die Querseiten senkrecht dazu verlaufen. Zudem wurde beachtet, dass die Knoten möglichst auf bestehende Aufschlüsse (Piezometer, Bohrungen, Grundwasserfassungen) oder das Gewässernetz zu liegen kamen. So ist insbesondere der Flusslauf der Langete gut erkennbar. Jeweils eine Element-Längsseite pro Elementreihe liegt direkt im Flussbett und mit geringem Abstand folgen links und rechts des Flusses zwei weitere.

Damit mit einem Grundwassermodell gearbeitet werden kann, müssen für jeden Knoten, die Lagekoordinaten und die Kote des Grundwasserstauers, pro Element der Durchlässigkeitsbeiwert (k-Wert) und der Speicherkoeffizient bekannt sein. Für sämtliche Randknoten sind sog. Randbedingungen zu formulieren, die die Kenntnis des Grundwasserstandes oder -flusses voraussetzen. Weiter sind Informationen über die Grundwasserzu- und -wegflüsse notwendig.

Die Grundwasserstauer-Koten sind aus dem Situationsplan mit den Isohypsen des Grundwasserstauers (Beilage II) entnommen worden. Die definitiven k-Werte und Speicherkoeffiziente gehen aus der Modelleichung (vgl. Abschnitt 5.2) hervor. Als Randbedingung wurden in den Profilen Kleindietwil, Bleienbach, Bützberg und Aarwangen die Grundwasserstände, entlang der seitlichen Ränder als Zufluss die indirekte Grundwasserneubildung vorgegeben. Die direkte Grundwasserneubildung wirkt als Flächenfluss auf das Modellgebiet. Bei den Knoten, die auf Gewässerabschnitten mit zusammenhängenden Grund- und Oberflächenwasserspiegeln liegen (Knoten mit Grundwasserexfiltration bzw. direkter Infiltration) sind die Wasserstände des Gewässers berücksichtigt worden. Die übrigen Grundwasserzuflüsse und die -entnahmen wurden als Knotenflüsse eingegeben.

Fig. 5.1: Grundwassermodell Langetental: Netzeinteilung



Für den Betrieb des Grundwassermodells Langetental müssen somit folgende Angaben vorliegen:

Wasserstände:
- Grundwasserstände in den Profilen Kleindietwil, Bleienbach, Bützberg und Aarwangen
- Wasserstände in der Langete sowie in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange

Grundwasserflüsse:
- Direkte und indirekte Grundwasserneubildung
- Langete-Infiltration
- Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung und Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald
- Grundwasserentnahmen (Trink- und Brauchwasserversorgungen)

Das Grundwassermodell kann sowohl stationär als auch instationär betrieben werden.

Im stationären Fall sind Grundwasserzu- und -wegflüsse gleich gross; es wird weder Grundwasser gespeichert noch gezehrt und es treten keine Grundwasserspiegel-Schwankungen auf. Ein stationärer Zustand liegt in Wirklichkeit selten vor, am ehesten während ausgedehnten Trockenwetterperioden mit nur noch geringfügigen Grundwasserspiegel-Rückgängen. Mit Grundwassermodellen lassen sich stationäre Verhältnisse simulieren, wenn die Grundwasserspiegeländerungen kompensiert werden mit flächenhaften Grundwasserzu- bzw. -wegflüssen.

Wenn die Dynamik der Strömungsverhältnisse und das Speicherverhalten des Grundwasserleiters aufgezeigt werden sollen, müssen instationäre Modellrechnungen vorgenommen werden. Die als Eingabedaten benötigten Wasserstände und Grundwasserflüsse müssen dann ebenfalls instationär vorliegen, d.h. ihr zeitlicher Verlauf muss bekannt sein, wobei eine zeitliche Diskretisierung in der Grössenordnung von 1 bis etwa 5 Tage für Zeitabschnitte von mehr als einem Monat genügend ist. Für die instationären Simulationen mit dem Grundwassermodell Langetental ist ein Jahr in jeweils ca. 120 Zeitabschnitte aufgeteilt worden. Ein Zeitabschnitt beträgt also durchschnittlich 3 Tage.

Als wichtigste Modellresultate fallen für alle Knoten und jeden Zeitabschnitt die Grundwasserstände und -flüsse an, soweit sie nicht vorgegeben sind. Basierend darauf kann für jeden beliebigen Zeitabschnitt die Grundwasserspiegelfläche und die Grundwasserbilanz dargestellt werden (vgl. Kapitel 6).

5.2 Eichung des Grundwassermodells

Wie in Abschnitt 5.1 erwähnt wurde, sollten für jedes der 469 Elemente des Grundwassermodells der k-Wert und der Speicherkoeffizient bekannt sein, damit instationäre Modellrechnungen durchgeführt werden können. Versuchsmässig bestimmte k-Werte des Grundwasserleiters liegen jedoch nur im Bereich von ca. 50 Bohrungen und Grundwasserfassungen vor, Angaben über Speicherkoeffizienten lediglich aus 2 Grosspumpversuchen im Hardwald. Deshalb können nicht ohne weiteres jedem Element die massgebenden Kennziffern zugeordnet werden.

Für die Elemente müssen daher die k-Werte mit Hilfe der stationären Modelleichung, die Speicherkoeffiziente mit Hilfe der instationären Eichung gesucht werden. Ausgehend von den versuchsmässig bestimmten Kennziffern werden daher die Element-k-Werte und -Speicherkoeffiziente innerhalb einer wahrscheinlichen Bandbreite verändert, bis die mit dem Modell berechneten Daten genügend gut mit den sog. Kontrolldaten übereinstimmen [2].

Eine fachgerechte Eichung eines Grundwassermodells ist nur möglich, wenn neben den Eingabedaten genügend Kontrolldaten vorliegen, die lediglich zur Kontrolle der Modellberechnungen benötigt werden. Kontrolldaten sind z.B. gemessene Grundwasserstände und Exfiltrationsmengen. Der Eichvorgang ist ein iterativer Prozess. Die Annäherung an die Kontrolldaten erfolgt im allgemeinen nur schrittweise und auch mit Rückschlägen.

Eine vollständige Übereinstimmung zwischen Modell- und Kontrolldaten lässt sich vor allem infolge lokaler Inhomogenitäten nicht erreichen. Die Standardabweichung der Differenzen zwischen den mit dem Grundwassermodell berechneten und den gemessenen Grundwasserständen können bei den hydrogeologischen Gegebenheiten des Langetentals bereits infolge der lokal stark unterschiedlichen Spiegelgefälle mit teilweise ausgeprägten Gefällsstufen mehrere Dezimeter erreichen [2].

Wenn mit Hilfe der Modelleichung keine befriedigende Annäherung zwischen den berechneten Werten und den Kontrolldaten gefunden werden kann, ist anzunehmen, dass die Geometrie des Grundwasserleiters und/oder die Grundwasserzu- und -wegflüsse nicht genügend genau erfasst sind. Mit weiteren Felduntersuchungen müssen die Informationslücken geschlossen werden.

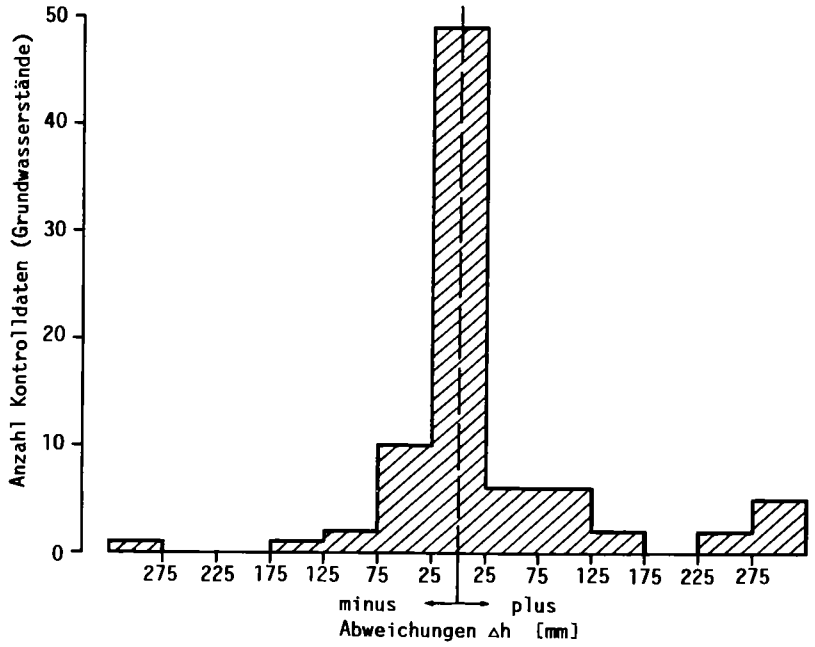
5.2.1 Stationäre Modelleichung

Im Laufe der Untersuchungen ist das Grundwassermodell Langetental insgesamt dreimal stationär geeicht worden. Die detaillierteste und massgebende Eichung beruht auf den Daten der Simultanmessung vom 14. Oktober 1986. Zu diesem Zeitpunkt herrschte eine Trockenwetterperiode und der Grundwasserspiegel-Rückgang konnte sehr genau mit Hilfe einer vorgängigen Simultanmessung am 10. Oktober 1986 bestimmt werden. Er betrug im Mittel 1 cm/d, was einer Zehrmenge von 230 l/s entspricht.

Für die Eichung lagen insgesamt 113 Wasserstände vor, die direkt einem Modellknoten zugeordnet werden konnten. Davon wurden 28 als Eingabedaten für das Grundwassermodell benötigt. Die restlichen 85 Wasserstände standen als Kontrolldaten zur Verfügung. Als weitere Kontrolldaten dienten die aus kontinuierlichen Messreihen oder Einzelmessungen bekannten (vgl. Abschnitt 4.2) Exfiltrationsmengen der Brunnmatt, der Mange und der Langete.

Die Vergleiche zwischen den gemessenen und den mit dem Grundwassermodell berechneten Grundwasserständen geht aus Figur 5.2 hervor. Die Abweichungen liegen grösstenteils zwischen -2.5 und +2.5 cm und sind damit sehr klein. Nur gerade 8 Abweichungen sind betragsmässig grösser als 17.5 cm. Sie wurden bei Messstellen festgestellt, die entweder am Rand des Grundwasservorkommens oder in Zonen mit starken Gefällswechseln und kleinen Grundwassermächtigkeiten in der Grössenordnung von 1 m liegen. Sie beeinflussen die Grundwasserstände in den übrigen Gebieten nur unbedeutend.

Fig. 5.2: Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen



Ohne Berücksichtigung dieser 8 Abweichungen liegen die berechneten Grundwasserstände im Mittel um 0.9 cm tiefer als die gemessenen. Die Standardabweichung der Differenzen zwischen den berechneten und gemessenen Werten beträgt ± 5.7 cm und lässt sich praktisch allein durch lokale, nicht modellierte Phänomene erklären. 38 Abweichungen weisen ein negatives Vorzeichen auf, die berechneten Werte sind grösser als die gemessenen. 39 Abweichungen sind positiv. Somit liegt kein Trend vor.

Die Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Exfiltrationsmengen gehen aus Tabelle 5.1 hervor. Sie sind ebenfalls klein und bestätigen indirekt auch die modellunabhängig berechneten Grundwasserzuflüsse. Offenbar können mit den aus der Eichung hervorgegangenen k-Werten Grundwasserstände und -flüsse sehr genau nachvollzogen werden.

Tab. 5.1: Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Exfiltrationsmengen vom 14. Oktober 1986

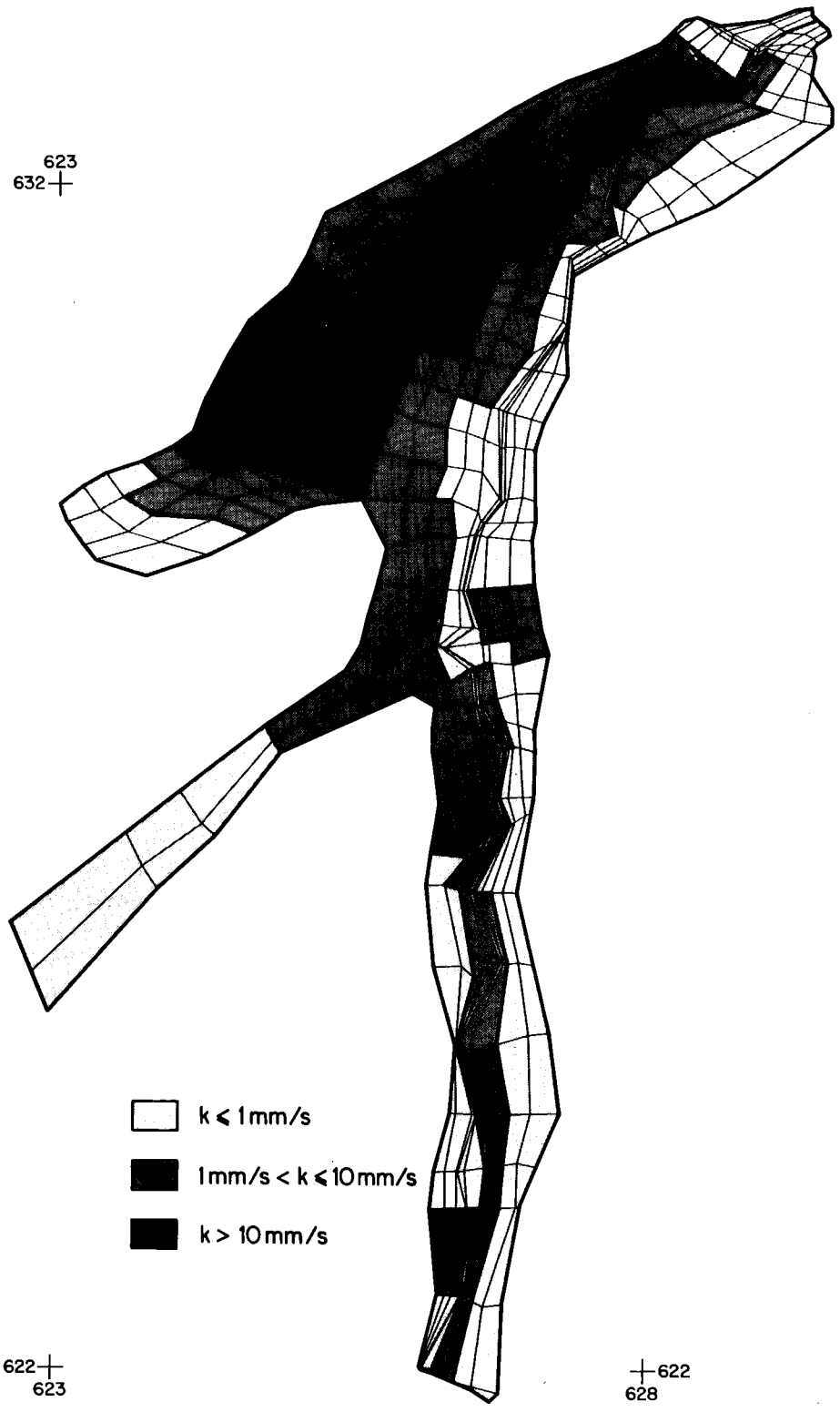
Exfiltrationsgebiet	gemessen [l/s]	berechnet [l/s]	Differenz [l/s]
Brunnmatt	310	320	-10
Mangen	180	170	+10
Langete			
-Gewässerabschnitt 1	≈ 50	70	-20
-Gewässerabschnitt 3	≈120	130	-10
TOTAL	660	690	-30

≈: aufgrund von Einzelmessungen geschätzt

Figur 5.3 zeigt die ermittelten Element-k-Werte. Es sind vereinfachend lediglich drei Durchlässigkeitsbereiche dargestellt worden. Die räumliche Verteilung stimmt gut überein mit der in Abschnitt 2.5.1 erläuterten, welche auf den mit Feldversuchen ermittelten k-Werten basiert. Deutlich zum Ausdruck kommen die äusserst guten Durchlässigkeitverhältnisse (k-Werte > 10 mm/s) in grossen Teilen des Langenthalerbeckens. Mittlere Durchlässigkeitswerte (1 mm/s < k-Wert ≤ 10 mm/s) liegen entlang einem ca. 300 m breitem Streifen von Kleindietwil bis nach Roggwil, in den westlichen Randzonen neben dem Hardwald und im Bereich des Exfiltrationsgebietes Brunnmatt vor. In den übrigen randlichen Zonen und im Bleienbachtal sind die Durchlässigkeitsverhältnisse grösstenteils schlecht (k-Wert ≤ 1 mm/s).

Das arithmetische Mittel sämtlicher Element-k-Werte beträgt 10.9 mm/s. Obschon dieser Wert nicht direkt verglichen werden kann mit dem arithmetischen Mittel der Profil-k-Werte, welches 8.0 mm/s beträgt, ist doch eine generell gute Übereinstimmung erkennbar. Der leicht tiefere Mittelwert der Profil-k-Werte ist gemäss den vorgenommenen geostatistischen Auswertungen darauf zurückzuführen, dass mit den Profil-k-Werten die grossräumigen Durchlässigkeiten, wie sie die Element-k-Werte repräsentieren, eher unterschätzt werden.

Fig. 5.3: Grundwassermodell Langetental: Durchlässigkeitsverteilung aufgrund der Element-k-Werte



5.2.2 Instationäre Modelleichung

Die instationäre Modelleichung ist für die Jahre 1984 und 1985 durchgeführt worden. Analog wie bei der stationären kann mit dem Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Grundwasserständen bzw. Exfiltrationsmengen die Güte der Eichung bewertet werden, wobei auch hier eine exakte Übereinsstimmung nicht zu erreichen ist. Als zusätzliche Kontrolle wurden mit dem instationär geeichten Grundwassermodell die Grundwasser-Strömungsverhältnissen für das Jahr 1986 simuliert und mit den effektiven verglichen.

Als Kontrolldaten standen die Grundwasserstands-Aufzeichnungen von 32 über das Untersuchungsgebiet verteilten Messstationen und die gemessenen Exfiltrationsmengen der Brunnmatt, der Mange und der Langete zur Verfügung.

Die Figuren 5.4a bis 5.4c zeigen für 10 verschiedene Standorte mit zum Teil stark unterschiedlichen Grundwasserstands-Bewegungen die gemessenen und berechneten Grundwasserstände (Potentiale) der Jahre 1984 bis 1986. Ohne hier im Detail auf die einzelnen Ganglinien einzutreten, geht aus dem visuellen Vergleich deutlich hervor, dass mit dem Grundwassermodell die gemessenen Grundwasserstände gut nachvollzogen werden können. Die Abweichungen bewegen sich grösstenteils im Bereich von 1 bis 2 dm; zeitweise etwas grössere treten auf, weil der zeitliche Ablauf der Grundwasserspiegel-Anstiege und -Rückgänge zum Teil nicht ganz naturkonform nachvollzogen werden kann (vgl. z.B. Grundwasserstands-Ganglinie der Messstation THWF1 im Frühjahr 1986). Im Spätherbst 1985 sind bei praktisch allen Messstandorten die Grundwasserstände zu tief berechnet worden. Entweder wurden für diesen Zeitraum die Grundwasserzuflüsse unter-, oder die Grundwasserwegflüsse überschätzt. Bei der Messstation LTB07 konnte zudem das rasche Absinken des Grundwasserstandes nach Wiesenwässerungen nicht vollständig nachvollzogen werden. Diese Messstation liegt in einer Zone mit äusserst geringer Grundwassermächtigkeit (< 1m) und grossem Grundwasserspiegel-Gefälle, was die Genauigkeit der Berechnungen mit horizontal-ebenen, regionalen Grundwassermodellen stärker einschränkt.

Fig. 5.4a: Gemessene —— und berechnete --- Ganglinien bei 4 Grundwassermessstationen

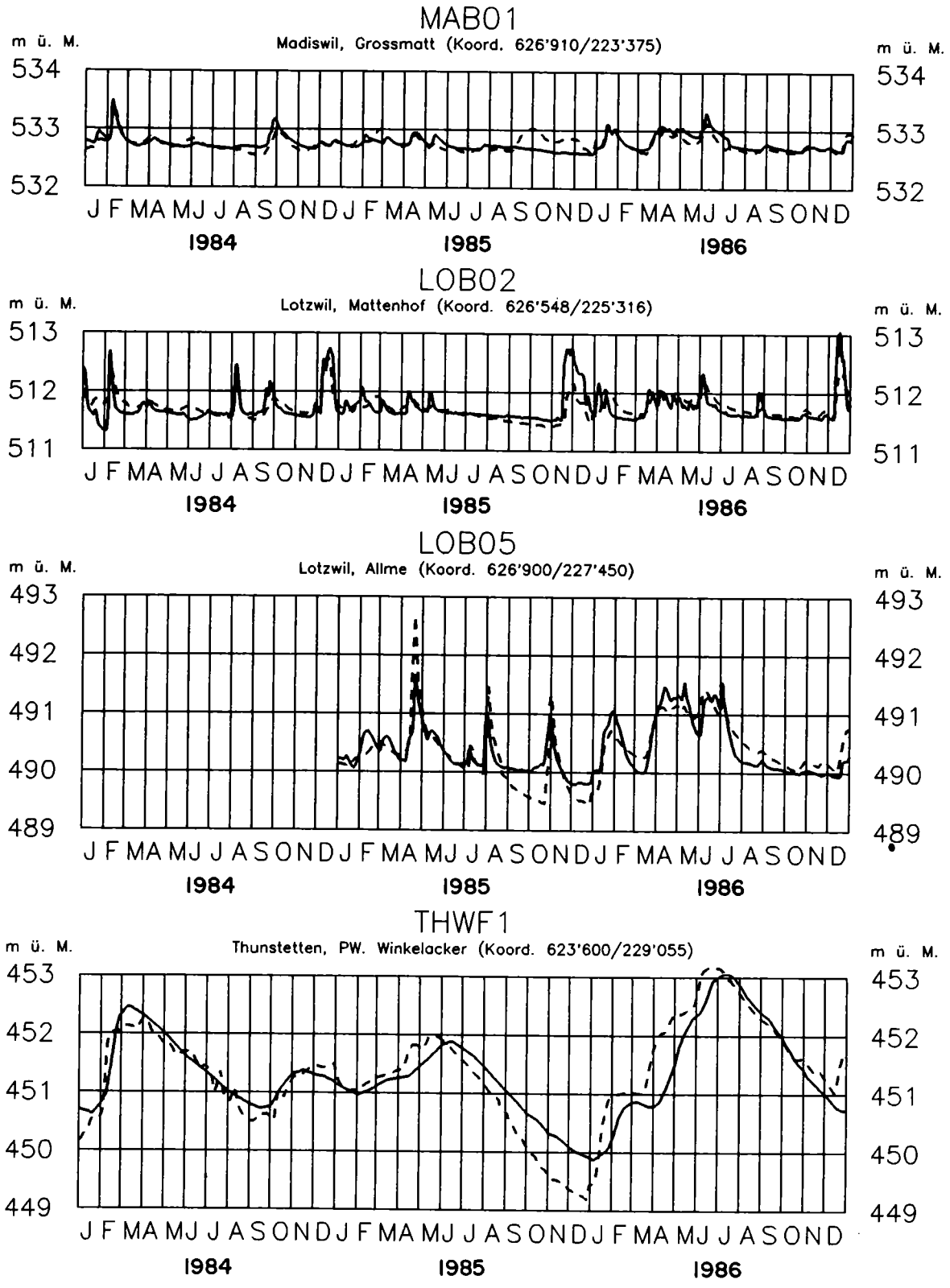


Fig. 5.4b: Gemessene —— und berechnete - - - Ganglinien
bei 3 Grundwassermessstationen

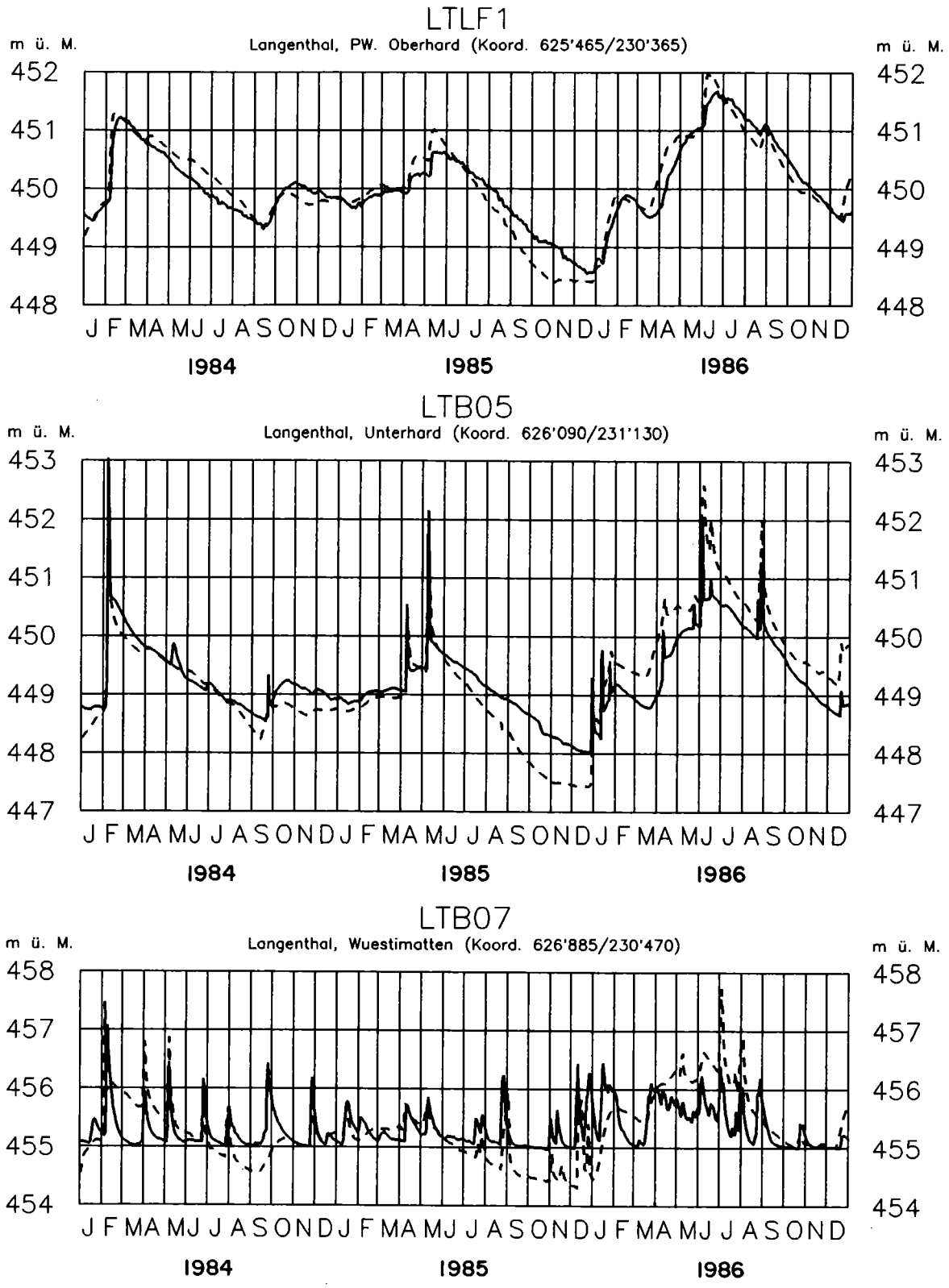
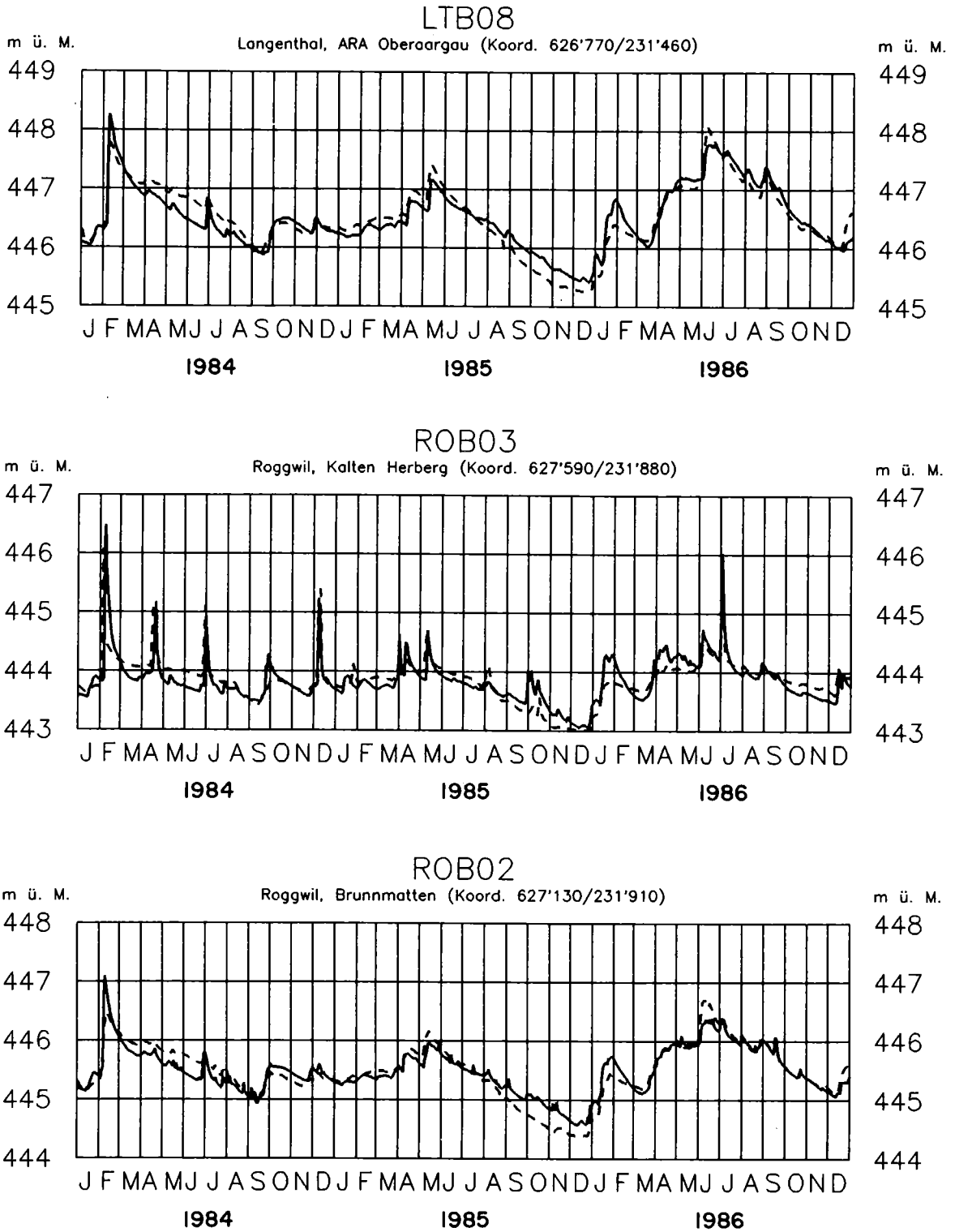


Fig. 5.4c: Gemessene —— und berechnete --- Ganglinien bei 3 Grundwassermessstationen



Da von den gemessenen Exfiltrationsmengen mit Ausnahme denjenigen der Brunnmatt der zeitliche Verlauf nicht vorliegt, werden in Tabelle 5.2 die auf Messwerten basierenden (vgl. Abschnitt 4.2.2) und berechneten Jahresmittelwerte einander gegenübergestellt. In der Tabelle nicht aufgeführt wurden die Exfiltrationsmengen in die Langete im Gewässerabschnitt 1, da dort die Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Langetewasser zu komplex sind, um mit vereinzelten Messwerten zuverlässige Jahresmittelwerte abschätzen zu können.

Tab. 5.2: Auf Messwerte basierende und berechnete Jahresmittelwerte 1984 bis 1986 der Exfiltrationsmengen

Exfiltrationsgebiet	Exfiltrationsmenge in l/s							
	1984		1985		1986		Mittel	
	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.
Brunnmatt	370	420	320	340	430	500	375	420
Mange	200	175	190	170	210	180	200	175
Langete, Gewässerabschnitt 3	≈125	130	≈125	125	≈125	135	≈125	130
TOTAL	695	725	635	635	765	815	700	725

Die gemessenen und berechneten Exfiltrationsmengen stimmen gut miteinander überein. Die Differenzen der gesamten Exfiltrationsmengen betragen für die einzelnen Jahre zwischen 0 und 50 l/s, im Mittel 25 l/s und liegen damit innerhalb einer plausiblen Grössenordnung. Sie lassen sich z.B. bereits durch durchschnittliche mittlere Fehler der Grundwasserzuflüsse von ca. 5% erklären.

Die Modellberechnungen ergeben für das Exfiltrationsgebiet Brunnmatt durchschnittlich 45 l/s zuviel Wasser dafür 25 l/s zuwenig für das angrenzende Exfiltrationsgebiet Mange. Die Schwankungen der Exfiltrationsmengen werden jedoch korrekt nachvollzogen; im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt treten auch nach dem Grundwassermodell grosse Schwankungen auf, im Exfiltrationsgebiet Mange dagegen praktisch keine. Es wurde deshalb darauf verzichtet, mit einer nochmaligen stationären Eichung die Element-k-Werte im Bereich dieser Exfiltrationsgebiete zu verändern, um eine bessere Verteilung der Exfiltrationsmengen zu erreichen, da auch so die Dynamik des ganzen Grundwasservorkommens, was entscheidend ist, richtig wiedergegeben wird.

Die dargelegten Eichresultate zeigen: Mit dem Grundwassermodell Langetental können die Strömungsverhältnisse im Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes gut nachvollzogen werden. Die heute herrschenden Grundwasserverhältnisse lassen sich detailliert beschreiben (vgl. Kapitel 6) und mit Hilfe von Prognoserechnungen können Bewirtschaftungsszenarien simuliert werden (vgl. Abschnitt 5.3).

6. BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERVORKOMMENS

Ein Grundwasservorkommen kann umfassend charakterisiert werden mit:

- den räumlichen Abmessungen (Grundwasserspiegel, Oberfläche des Grundwasserstauers, Mächtigkeit, seitliche Ausdehnung, Flurabstand)
- den Strömungsverhältnissen (Fliessrichtung und -geschwindigkeit des Grundwassers, Durchlässigkeitsverhältnisse)
- der Grundwasserbilanz (Grundwasserzu- und -wegflüsse, im Grundwasserleiter strömende Wassermengen)
- der Grundwasserqualität (physikalisch-chemische, bakteriologische Eigenschaften).

Im folgenden wird das Grundwasservorkommen des Langetentals zwischen Kleindietwil und Roggwil (ohne Bleienbachtal) für den Zeitschnitt 14. Oktober 1986 und den Zeitraum 1984 bis 1986 beschrieben. Lediglich in den Figuren 6.10a und 6.10b (Abschnitt 6.2) wird der Abfluss im Bleienbachtal einbezogen.

6.1 Grundwasserverhältnisse am 14. Oktober 1986

Die Grundwasserstände vom 14. Oktober 1986 entsprechen einem mittleren Grundwasserstand innerhalb des Untersuchungszeitraums. Wiesenwässerungen oder eine Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald haben an diesem Tag und unmittelbar vorher nicht stattgefunden. Die beschriebenen Strömungsverhältnisse, Grundwassermächtigkeiten und Flurabstände können als repräsentativ für mittlere Grundwasserverhältnisse betrachtet werden.

Die Gefällsverhältnisse des Grundwasserspiegels und damit auch die Strömungsrichtungen sind bei höheren und tieferen natürlichen Grundwasserständen ähnlich wie bei mittleren. Die für den 14. Oktober 1986 erläuterten Verhältnisse haben deshalb generell Gültigkeit. Einzig während intensiver Wiesenwässerungen oder einer massiven Langete-Hochwasserversickerung kann sich örtlich während kurzer Zeit das Strömungsbild zum Teil deutlich verändern.

Da am 14. Oktober 1986, unmittelbar vor- und nachher die Grundwasserqualität nicht untersucht wurde, wird auf die qualitativen Verhältnisse in diesem Abschnitt nicht eingetreten. Die im Untersuchungszeitraum erhobenen chemisch-bakteriologische Daten und ihre Interpretation werden im Abschnitt 6.2 erläutert.

6.1.1 Isohypsen des Grundwasserspiegels

Auf die Bedeutung der Simultanmessung vom 14. Oktober 1986 für die stationäre Eichung des Grundwassermodells und die gute Uebereinstimmung der gemessenen und mit dem Modell berechneten Grundwasserstände, wurde in Abschnitt 5.2.1 hingewiesen. Die mit dem Grundwassermodell berechneten Grundwasserstände beschreiben die über die Tiefe gemittelte Grundwasserströmung und werden als mittlere Potentiale bezeichnet (vgl. Abschnitt 3.1.1). Im Langetental sind die festgestellten Abweichungen zwischen dem Grundwasserspiegel, den gemessenen und den berechneten Wasserständen klein. Für die folgenden Erläuterungen wird daher vereinfachend lediglich die Bezeichnung Grundwasserspiegel verwendet.

Der Grundwasserspiegel kann anschaulich mit Höhenkurven sog. Isohypsen dargestellt werden. Das Grundwasser strömt senkrecht zu den Isohypsen. Die mittlere Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers kann mit der bekannten erweiterten Gleichung nach Darcy berechnet werden. Infolge des heterogenen Aufbaus des Grundwasserleiters variiert sie normalerweise nicht nur von Ort zu Ort sondern auch über die Tiefe relativ stark. Die im folgenden angegebenen Fliessgeschwindigkeiten sind daher als generelle, über die Tiefe gemittelte Werte zu verstehen.

In der Beilage II sind für das ganze Untersuchungsgebiet, in Figur 6.1 für das Gebiet von Langenthal die mit dem Grundwassermodell berechneten und den örtlichen Randbedingungen angepassten Isohypsen des Grundwasserspiegels dargestellt. Basierend darauf lassen sich die Strömungsverhältnisse des Grundwassers wie folgt beschreiben:

- Zwischen Kleindietwil und Lotzwil strömt das Grundwasser im Mittel mit einem Gefälle von 1% (= 1 m Höhenunterschied auf 100 m Horizontaldistanz) und einer Fliessgeschwindigkeit von ca. 5 bis 20 m/d talabwärts. Die gegen die seitliche Begrenzung hin gekrümmten Isohypsen geben zum Ausdruck, dass das Grundwasservorkommen von den Talflanken her gespeist wird (indirekte Grundwasserneubildung). Ebenfalls gut erkennbar ist die starke Wechselbeziehung zwischen der Langete und dem Grundwasser: Über grössere Strecken fliesst Grundwasser gegen die Langete und exfiltriert eindeutig vor allem zwischen Lindenholz und Grossmatt. Im übrigen Bereich sind In- und Exfiltrationsstrecken grösstenteils nicht klar erkennbar, die Infiltration dürfte jedoch überwiegen.

- Im Raum Langenthal fliesst mit einem äusserst grossen Gefälle von bis 10% das von Lotzwil kommende Grundwasser in nordwestlicher Richtung über die Steilstufe in die Bleienbachrinne oder sickert ungefähr vom Dorfzentrum an bis zur Grossmatte über die Steilstufe des Grundwasserstauers direkt in das Langenthalerbecken. In diesem strömungsmässig komplexen Gebiet treten stark unterschiedliche Fliessgeschwindigkeiten von ca. 5 m/d bis 100 m/d auf.

- Im Bleienbachtal fliesst das Grundwasser westlich der Wasserscheide zwischen Torfsee, Allmend und Bleienbach, Richtung Thörigen, östlich davon in der bereits erwähnten Bleienbachrinne mit einem mittleren Gefälle von weniger als 1 % und einer Fliessgeschwindigkeit von einigen m/d Richtung Langenthal. Beim Bahnhof Langenthal vergrössert sich das Gefälle und das Grundwasser strömt ins Langenthalerbecken.

Legende zu Figur 6.1 auf Seite 118:

..... Seitliche Begrenzug des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters vom 14.10.1986.

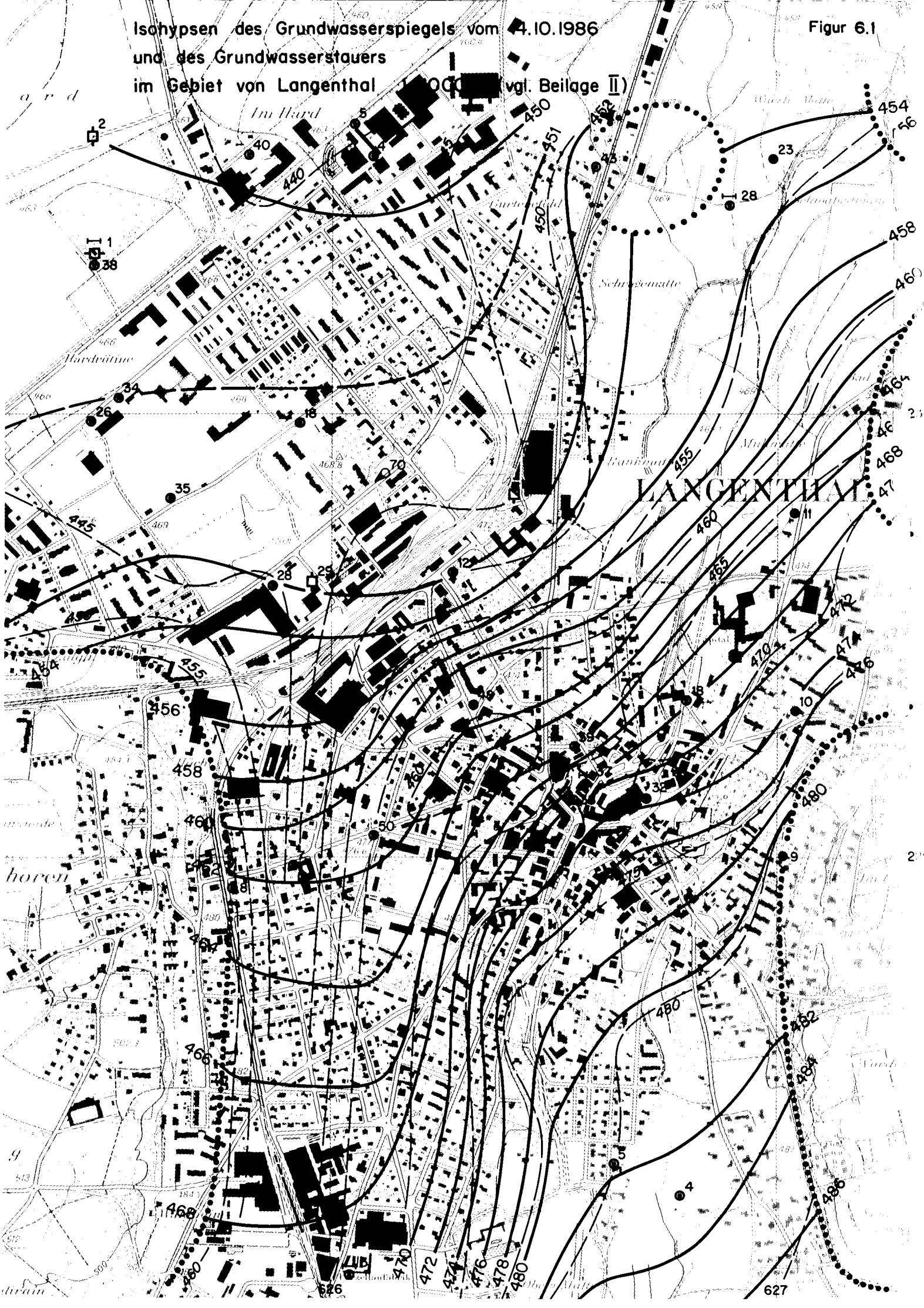
Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 14.10.1986 mit Höhen in m ü.M.

Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers mit Höhen in m ü.M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen
(Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Messstellen wiedergegeben werden)

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 4.10.1986 und des Grundwasserstauers im Gebiet von Langenthal 1:2000 (vgl. Beilage II)

Figur 6.1



- Im Langenthalerbecken fliesst vom westlichen Rand bei Bützberg Grundwasser gegen den Hardwald, vereinigt sich mit dem oben beschriebenen Grundwasser aus dem Mittleren Langetental und strömt mit zunehmendem Gefälle gegen Roggwil. Im Raum Bützberg, mit einem Gefälle von nur gerade ca. 0.06%, betragen die mittleren Fliessgeschwindigkeiten wenige Meter pro Tag. Im Raum Hardwald (Gefälle ca. 0.2%) treten Fliessgeschwindigkeiten von ca. 10 bis 30 m/d auf; im Raum Kaltenherberg sind sie bei einem mittleren Gefälle von ca. 0.7% ähnlich.

- Im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt exfiltriert ungefähr die Hälfte des Grundwasserstroms, wobei der enge Zusammenhang zwischen Grund- und Oberflächenwasser durch den Verlauf der Isohypsen gut zum Ausdruck kommt. Die andere Hälfte strömt in der Roggwiler-Terrasse mit einem mittleren Gefälle von ca. 0.6% und einer Fliessgeschwindigkeiten von etwa 20 m/d weiter Richtung Roggwil, wo sie praktisch vollständig im Bereich des Langete-Absturzes in die Langete oder im Exfiltrationsgebiet Mange austritt.

Das Grundwasser strömt im Grundwasserleiter mehrheitlich mit Fliessgeschwindigkeiten von 5 bis 20 m/d. Unter der Annahme, ein Wasserteilchen ströme von Kleindietwil bis Roggwil (Distanz 13 km) ununterbrochen im Grundwasserleiter, würde die Fliesszeit ca. 5 Jahre betragen. Die Fliesszeit der Wasserteilchen von Bützberg nach Roggwil (Distanz ca. 7.5 km) beträgt ungefähr 2 Jahre. Im Vergleich dazu benötigt ein Wasserteilchen in der Langete nur etwa 3 bis 4 Stunden, um von Kleindietwil bis nach Roggwil zu gelangen. Die Fliessgeschwindigkeiten im Grundwasser sind verglichen mit denjenigen in Fliessgewässern naturgemäss ausgesprochen klein.

6.1.2 Grundwassermächtigkeit

Die Grundwassermächtigkeit als Differenz zwischen dem Grundwasserspiegel und dem Grundwasserstauer (vgl. Figur 2.2) kann regional am einfachsten veranschaulicht werden mit Linien gleicher Mächtigkeit (= Isolinien der Grundwassermächtigkeit) und den damit abgegrenzten Mächtigkeitsbereichen. In Beilage III werden, basierend auf dem in Beilage II gezeigten Grundwasserspiegel vom 14. Oktober 1986 und dem Grundwasserstauer, die Mächtigkeitsverhältnisse im Untersuchungsgebiet generell gezeigt:

- Zwischen Kleindietwil und Lotzwil ist die Grundwassermächtigkeit durchwegs kleiner als 5 m. Die grössten Mächtigkeiten von knapp 5 m treten ungefähr in der Talmitte auf; gegen die Talflanken hin werden sie relativ kontinuierlich kleiner und betragen beidseitig in einem ca. 200 m breiten Streifen weniger als 2.5 m.

- Zwischen Lotzwil und Langenthal erreicht die Grundwassermächtigkeit im westlichen Bereich des Grundwasserleiters bei der Einmündung in die Bleienbachrinne ca. 10 m. In der Bleienbachrinne tritt mit knapp 20 m die grösste Mächtigkeit im Untersuchungsgebiet auf. Im Zentrum von Langenthal erreicht sie örtlich knapp 5 m, im östlichen Teil von Langenthal bis zur Wüestimatte/ Grossmatte grösstenteils lediglich ca. 1 bis 2 m.

- Im Langenthalerbecken variiert die Grundwassermächtigkeit grösstenteils zwischen ca. 5 und 10 m. Von Bützberg nimmt sie Richtung Hardwald generell von ca. 5 auf 10 m zu und anschliessend bis Kaltenherberg auf ca. 5 m ab. Die grössten ausgewiesenen Mächtigkeiten betragen ungefähr 12 m und treten im Raum Hardwald und im Bereich der Schulanlagen im Hard auf.

- In der Roggwiler-Terrasse ist die Grundwassermächtigkeit mit dem ausgewiesenen Maximum im südlichen Bereich des Grossfeldes von 5.7 m grösstenteils kleiner als 5 m. Gegen die Exfiltrationsgebiete Brunnmatt und Mange nimmt sie stetig ab und liegt in den Exfiltrationsgebieten selbst grösstenteils unter 2.5 m.

Die mittlere Grundwassermächtigkeit im untersuchten Grundwasserleiter zwischen Kleindietwil und Roggwil betrug am 14. Oktober 1986 knapp 6 m. Bei einer Grundwasserspiegelfläche von ca. 20 km^2 ergibt dies ein Volumen der Unterwasserspiegelzone von ca. 120'000'000 m^3. Bei einem mittleren Speicherkoeffizient von etwa 0.1 könnten somit theoretisch 12'000'000 m^3 Grundwasser gewonnen werden. Diese Wassermenge würde ausreichen, um den Bedarf an Trink- und Brauchwasser der Region während gut zwei Jahren zu decken.

Eine grosse Grundwassermächtigkeit begünstigt, ähnlich wie ein guter Durchlässigkeitsbeiwert, die Grundwassergewinnung. Sie ist im Untersuchungsgebiet vielerorts kleiner als 5 m. Einzig im Raum Hardwald, dem bereits heute wichtigsten Fassungsgebiet der Region, sind relativ grossräumig Mächtigkeiten zwischen 7.5 m und ca. 12 m vorhanden, welche die Erstellung von grossen, regionalen Grundwasser-Fassungsanlagen erlauben.

6.1.3 Flurabstand

Der Flurabstand als Differenz zwischen der Terrainoberfläche und dem Grundwasserspiegel entspricht der Mächtigkeit der Überwasserspiegelzone (vgl. Figur 2.2). Er zeigt, wie tief das Grundwasservorkommen unter Terrain liegt. Er kann analog wie die Grundwassermächtigkeit mit Isolinien veranschaulicht werden und geht im Detail aus Beilage III hervor. Der für die Darstellung massgebende Grundwasserspiegel entspricht demjenigen in Beilage II. Die Höhenangaben der Terrainoberfläche sind einerseits den Stammdaten der Messstellen und anderseits den Uebersichtsplänen 1 : 10 000 des Kantonalen Vermessungsamtes (5 und 10 m Höhenkurven) entnommen worden.

Grosse Flurabstände in der Grössenordnung von ca. 10 bis 20 m bewirken, dass das versickerte Niederschlagswasser und die mit ihm transportierten Stoffe zeitlich verzögert und die Stoffkonzentrationen gedämpft ins Grundwasser gelangen: Die Grundwasserstände weisen meistens einen typischen Jahresgang auf (im Winter und Frühling steigende, im Sommer und Herbst fallende Wasserstände) und der Chemismus des Grundwassers ist relativ ausgeglichen. Bei kleinen Flurabständen (bis ca. 5 m) treten dagegen auch kurzfristige Schwankungen der Grundwasserstände und des Chemismus auf, die Voraussetzungen sind häufig gegeben, dass Grund- und Oberflächenwasserspiegel zusammenhängen können (Exfiltration oder direkte Infiltration).

Die Überwasserspiegelzone ist, abgesehen von den oberflächennahen, feinkörnigen Deckschichten, ebenfalls Bestandteil des Grundwasserleiters und vermag dementsprechend Grundwasser zu speichern oder zu leiten. Grosse Flurabstände begünstigen meistens das Speichervermögen bei künstlicher Grundwasseranreicherung - auch bei der Wiesenwässerung - und den qualitativen Schutz des Grundwassers.

Die Flurabstände lassen sich im Untersuchungsgebiet generell wie folgt beschreiben:

- Von Kleindietwil bis in den südöstlichen Teil von Langenthal sind die Flurabstände praktisch überall kleiner als 5 m, in der Umgebung der Exfiltrationsstrecken oft nur ca. 1 bis 2 m. Einzig innerhalb eines schmalen Bereichs von Lotzwil Richtung Porzellan-Fabrik Langenthal treten Flurabstände zwischen ca. 5 und 10 m auf.

- Im Mündungsbereich des Bleienbachtals beträgt der Flurabstand ca. 10 m. Richtung Langenthal wird er kontinuierlich grösser und erreicht im Gebiet des Bahnhofs Langenthals knapp ca. 20 m.

- Im östlichen Teil von Langenthal und im nördlich anschliessenden Gebiet Wüestimatte/Grossmatte liegen die Flurabstände mehrheitlich zwischen wenigen und 10 m. Sie gleichen sich innerhalb der Steilstufe naturgemäss demjenigen der Bleienbachrinne bzw. des Langenthalerbeckens an.

- Am westlichen Rand des Langenthalerbeckens, bei Bützberg, treten mit ca. 25 m die grössten Flurabstände des Untersuchungsgebiets auf. Sie werden Richtung Brunnmatt stetig kleiner, betragen im Raum Hardwald noch zwischen 12 m und 8 m, im Raum Mumenthal zwischen 8 und 5 m und im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt etwa 1 bis 2 m.

- In der Roggwiler-Terrasse beträgt der Flurabstand im Gebiet Kaltenherberg ca. 12 m, gegen Roggwil steigt er auf ca. 15 m. Am westlichen Terrassenrand gegen die Brunnmatt und am nördlichen gegen das Exfiltrationsgebiet Mange fällt er innerhalb von nur etwa 30 m bzw. 150 m auf ungefähr 1 m bis 2 m. Ebenfalls im Einschnitt der Langete (Gewässerabschnitt 3) geht er auf wenige Meter zurück.

Der Flurabstand variiert im Untersuchungsgebiet bei einem Mittelwert von ca. 8.5 m zwischen ca. 1 m und 25 m. Die Variationsbreite ist somit beachtlich gross.

6.1.4 Stationäre Grundwasserbilanz

Die quantitative Beschreibung der Zu- und Wegflüsse in einem Grundwasserleiter wird als Grundwasserbilanzierung, ihr Resultat als Grundwasserbilanz bezeichnet. Die stationäre Grundwasserbilanz gilt für einen Zeitschnitt und die zufliessenden Wassermengen sind gleich gross wie die wegfliessenden. Die instationäre Grundwasserbilanz zeigt dagegen die zeitlichen Veränderungen der Zu- und Wegflüsse und der Zehr- und Speichermengen.

Mit der Grundwasserbilanz vom 14. Oktober 1986 werden quasistationäre Verhältnisse für das Datum der stationären Modelleichung beschrieben, indem das Absinken der Grundwasserstände zwischen den beiden Simultanmessungen vom 10. und 14. Oktober für die Berechnung der Zehrmenge herangezogen wird. Obschon ungefähr mittlere Grundwasserstände vorlagen, war infolge der Trockenwetterverhältnisse die Grundwasserneubildung aus der Niederschlagsversickerung unterdurchschnittlich.

Tabelle 6.1 zeigt die Grundwasserbilanz vom 14. Oktober 1986, aufgeteilt in die Grundwasserzu- und -wegflüsse. Die Trockenwetterverhältnisse sind deutlich erkennbar: Die Wegflüsse sind bedeutend grösser als die Zuflüsse und es findet keine direkte Grundwasserneubildung statt. Das Grundwasservorkommen wird einzig durch den Grundwasserzufluss im Bilanzierungsprofil Kleindietwil, die Langete-Infiltration und die indirekte Grundwasserneubildung gespeist. Die gegenüber den Zuflüssen grösseren Wegflüsse werden durch die negative Speicheränderung (= Grundwasserzehrung) von ca. 215 l/s kompensiert. Dadurch fällt der Grundwasserspiegel je nach Standort zwischen ca. 0.25 und 2.5 cm/d.

Das Grundwasser verlässt praktisch vollumfänglich den Grundwasserleiter, der unterirdische Grundwasserwegfluss aus dem Langetental ist äusserst klein. Nur gerade ca. 5 l/s strömen unterirdisch gegen Aarwangen. Ca. 460 l/s exfiltrieren in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange, ca. 200 l/s in die Langete und untergeordnet in die Rot. Für die Trink- und Brauchwasserversorgung werden insgesamt ca. 150 l/s Grundwasser entnommen, ungefähr die Hälfte davon im Raum Hardwald.

Aus der Grundwasserbilanz für das ganze Grundwasservorkommen als Einzellenmodell gehen mit Ausnahme der Zu- und Wegflussprofile (Kleindietwil und Aarwangen) die effektiv im Grundwasserleiter strömenden Wassermengen nicht hervor. Um hier Einblick zu erhalten, muss der untersuchte Grundwasserleiter mit zusätzlichen Profilen, die ungefähr senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet sein müssen, aufgeteilt werden. Für diese Profile lassen sich die durchströmenden Wassermengen berechnen. Die detailliertesten Angaben werden mit dem Grundwassermodell erhalten, wo für jede der 39 Elementreihen, d.h. für Abstände in Fliessrichtung von ca. 300 m, der Grundwasserfluss berechnet wird. Im folgenden (auch im Abschnitt 6.2.3 und in Figur 6.12) werden für drei zusätzliche Profile (Lotzwil, Langenthal und Kaltenherberg) die Grundwassermengen angegeben. Die Bereiche der drei Bilanzierungsprofile Lotzwil, Langenthal, Kaltenherberg sind aus Beilage III die Profilspuren der Profile Kleindietwil und Aarwangen in Figur 5.1 ersichtlich.

Tab. 6.1: Grundwasserbilanz vom 14. Oktober 1986 für das Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil

Bilanzierungskennziffer	Symbol	Grundwasserfluss [l/s]
<u>Grundwasserzuflüsse</u>		
Profilzufluss Kleindietwil	QP_1	35
direkte Grundwasserneubildung	QN	0
indirekte Grundwasserneubildung	QR	365
Langete-Infiltration	QI	200
Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung	QW	0
Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald	QH	0
<u>Grundwasserwegflüsse</u>		
Profilwegfluss Aarwangen	QP_3	5
Grundwasserexfiltration in die Langete, Gewässerabschnitt 1	QX_{L1}	70
Grundwasserexfiltration in die Langete, Gewässerabschnitt 3	QX_{L3}	125
Grundwasserexfiltration in die Rot	QX_R	5
Grundwasserexfiltration Brunnmatt	QX_B	320
Grundwasserexfiltration Mange	QX_M	140
Grundwasserentnahmen	QE	150
Summe der Zuflüsse		600
Summe der Wegflüsse		815
Speicheränderung	QS	215

Das Profil Lotzwil wiederspiegelt die im Grundwasserleiter strömende Wassermenge unterhalb des Gewässerabschnittes 1, mit den wechselnden In- und Exfiltrationsverhältnissen der Langete. Der Grundwasserfluss im Profil Langenthal zeigt, wieviel Grundwasser aus dem Mittleren Langenthal in das Langenthalerbecken strömt. Ungefähr beim Profil Kaltenherberg ist der untersuchte Grundwasserstrom am ergiebigsten, bevor er dann durch die Exfiltrationen in der Brunnmatt, in die Langete und in der Mange kontinuierlich abnimmt.

Am 14. Oktober 1986 strömten ca. 55 l/s im Profil Lotzwil, ca. 360 l/s im Profil Langenthal und ca. 710 l/s im Profil Kaltenherberg.

Zwischen Kleindietwil (vgl. Tab. 6.1) und Lotzwil ist die Zunahme der Grundwassermenge klein. Die Geometrie, die Durchlässigkeits- und die Grundwasserspiegelverhältnisse sind in beiden Profilen ähnlich. Der Grundwasserleiter vermag nicht vielmehr als ca. 70 l/s Wasser zu leiten. Das zwischen diesen beiden Profilen entstehende Grundwasser, vor allem durch Niederschlagsversickerung, exfiltriert deshalb grösstenteils in die Langete und geht dem Grundwasservorkommen verloren. Zudem werden durch den WUL und die WV Lotzwil hier praktisch permanent ca. 30 l/s Grundwasser entnommen.

Das zwischen den beiden Profilen Lotzwil und Langenthal entstehende Grundwasser (vor allem Niederschlagsversickerung und Langete-Infiltration) verbleibt nahezu vollständig im Grundwasserleiter, die Grundwasserentnahme und die Exfiltration sind unbedeutend.

Der Grundwasserfluss im Profil Kaltenherberg ist rund doppelt so gross wie im Profil Langenthal. Das in diesem Teilgebiet entstehende Grundwasser, auch hier vorwiegend versickertes Niederschlagswasser und Langete-Infiltration, überwiegt das für die Trink- und Brauchwasserversorgung entnommene Grundwasser beträchtlich.

6.2 Grundwasserverhältnisse 1984 bis 1986

Die Grundwasserzu- und -wegflüsse und damit auch die Grundwasserstände können zeitlich sehr stark variieren. Deshalb kann ein Grundwasservorkommen nur effizient geschützt und bewirtschaftet werden, wenn sein instationäres Verhalten bekannt ist. Basierend auf den Daten der Hauptuntersuchungsperiode 1984 bis 1986 werden im folgenden die zeitlichen Veränderungen im Grundwasservorkommen aufgezeigt. Da die hydrologischen Verhältnisse im Mittel und innerhalb der drei Jahre recht unterschiedlich waren, wird mit diesem Zeitraum ein breites Spektrum der möglichen Grundwasserverhältnisse abgedeckt; die instationären hydrologischen Vorgänge können mit dieser Zeitperiode umfassend beschrieben werden.

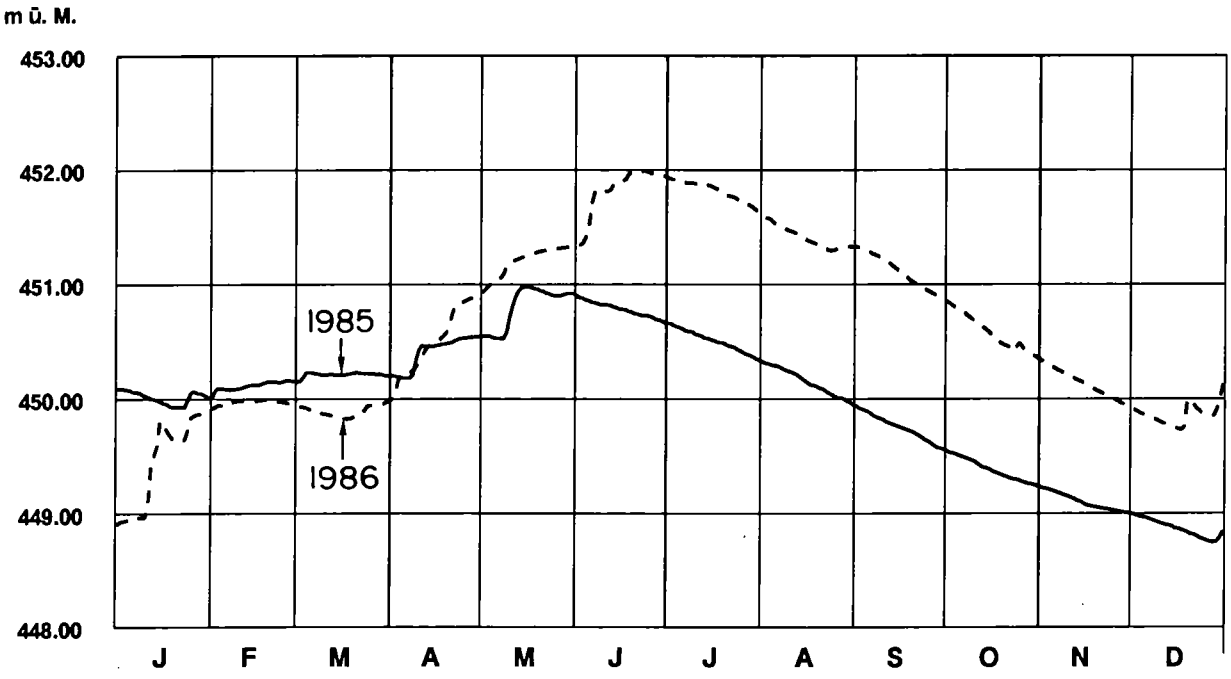
6.2.1 Grundwasserspiegelbewegungen

Mit den Isohypsen des Grundwasserspiegels kann eine Momentaufnahme der Grundwasseroberfläche anschaulich dargestellt werden. Über den zeiträumlichen Verlauf der Grundwasserspiegel vermögen Isohypsenkarten jedoch keine umfassende Auskunft zu geben. Am zweckmässigsten veranschaulichen sog. Ganglinien, basierend auf den mit Schreibpegeln erfassten Grundwasserständen, das instationäre Verhalten. Sie zeigen bei einer horizontalen Zeitaxe die effektiven Grundwasserstände oder ihre Tagesmittelwerte auf der Vertikalaxe in m ü.M..

Die einfachsten statistischen Kennwerte einer Ganglinie sind Mittelwert, Maximum, Minimum und Schwankungsbereich, die im allgemeinen auf eine Zeitperiode von einem Jahr bezogen werden. Der Mittelwert entspricht normalerweise dem arithmetischen Mittel der Tageswerte. Der Schwankungsbereich ist definiert als Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum.

Figur 6.2 veranschaulicht am Beispiel der Grundwasser-Messstation AAB10 im Oberhardwald für das Langenthalerbecken die unterschiedlichen Grundwasserspiegelbewegungen im Trockenjahr 1985 und im Nassjahr 1986. Im Abschnitt 3.2.1 wurde das Niederschlagsgeschehen der Jahre 1984 bis 1986 beschrieben. Im Jahr 1985 war der Gebietsniederschlag mit 1033 mm ca. 32 % kleiner als 1986 mit 1517 mm (vgl. Tab. 3.2). Die prozentualen Unterschiede zwischen den für die Grundwasserneubildung massgebenden Winterhalbjahre sind ähnlich gross (vgl. Tab. 3.4). Es überrascht daher nicht, dass die Grundwasserspiegel im ersten Halbjahr 1985 bedeutend weniger ansteigen als im ersten Halbjahr 1986.

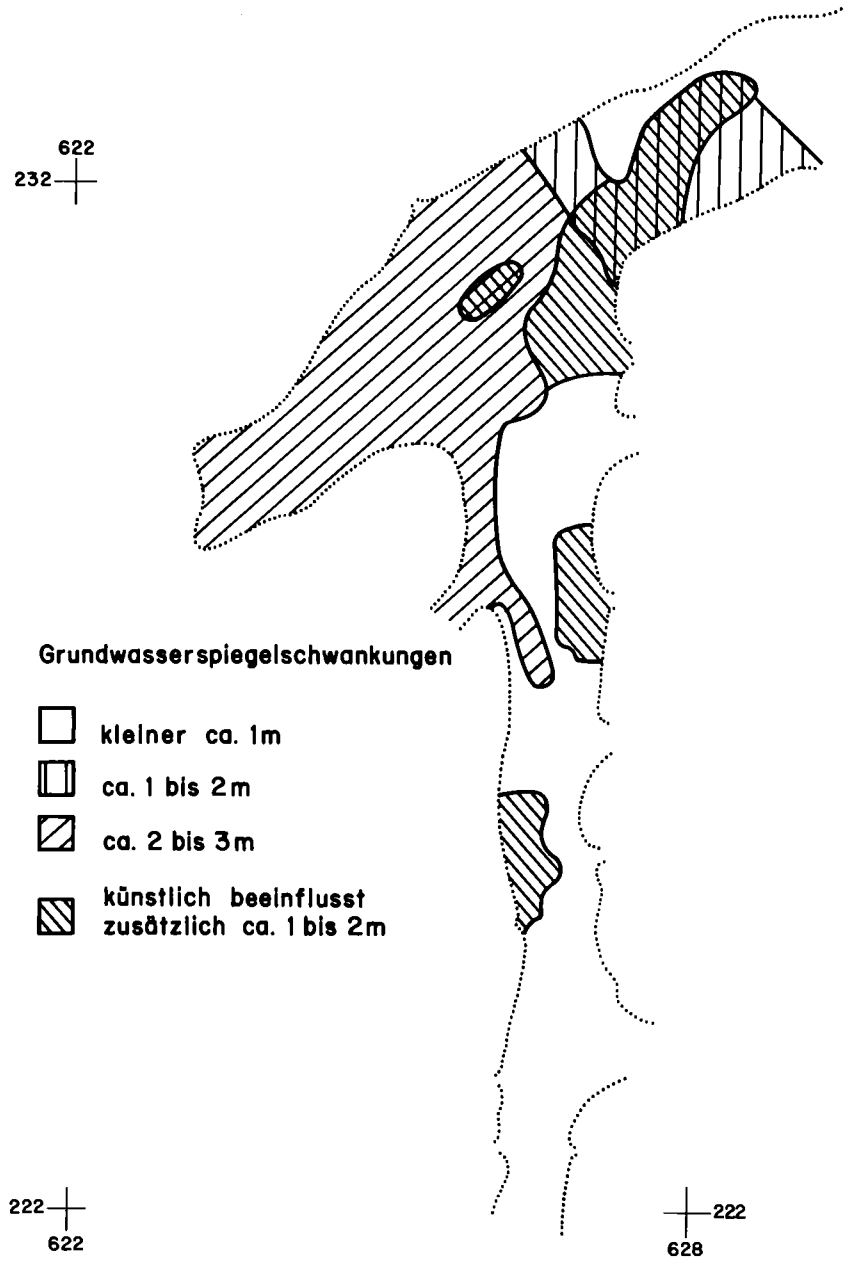
Fig. 6.2: Ganglinien des Grundwasserstandes der Messstation AAB10 (624.230/13) im Trockenjahr 1985 und Nassjahr 1986 (Tagesmittelwerte) (vgl. Fig. 3.3, monatliche Niederschlagssummen)



Abgesehen vom zeitlich wechselnden hydrologischen Geschehen wird eine Ganglinie auch beeinflusst durch die örtlichen Gegebenheiten wie Geometrie, Aufbau und Hydrologische Kennziffern des Grundwasserleiters, Grundwasserzu- und -wegflüsse.

In einem durchschnittlichen Jahr betragen die Schwankungen des Grundwasserspiegels je nach Standort zwischen ca. 0.5 und 5 m. Diese Variationsbreite ist relativ gross. Es lassen sich jedoch Teilgebiete mit ähnlich grossen Schwankungen abgrenzen. Sie sind in Figur 6.3 dargestellt.

Fig. 6.3: Teilgebiete mit ähnlich grossen Schwankungsbereichen während der Jahre 1984 bis 1986

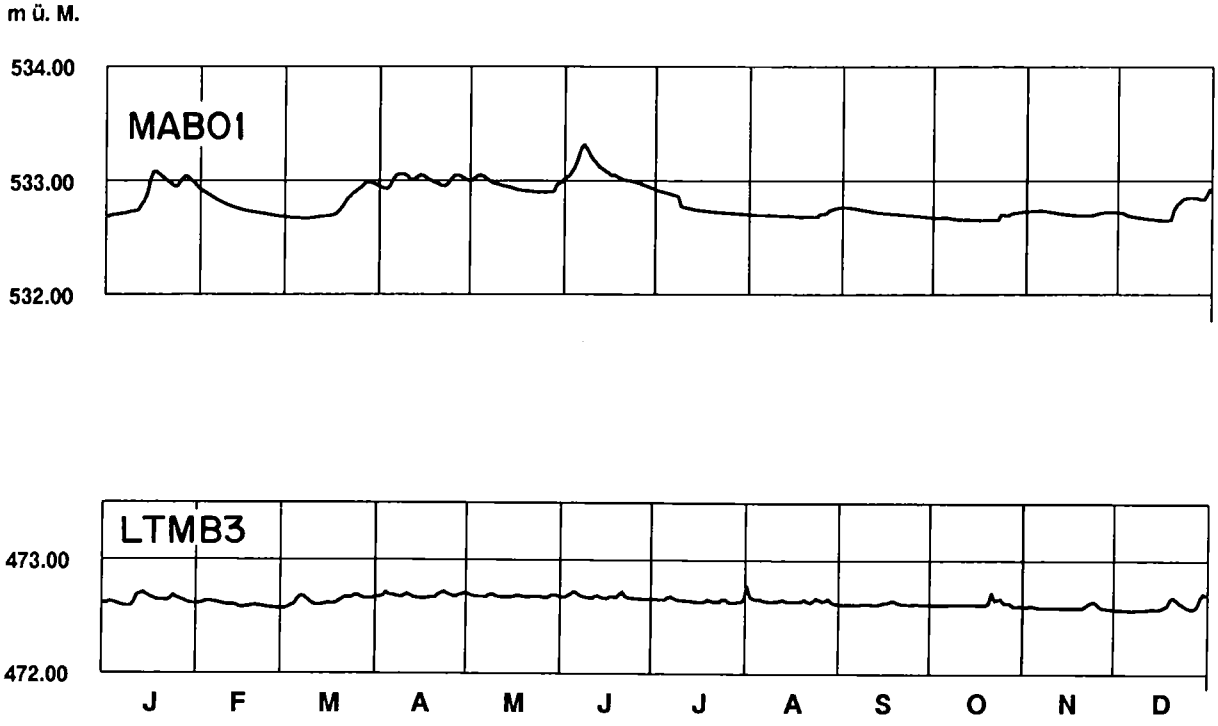


Ohne die Einflüsse der Wiesenwässerungen und der Langete-Hochwasserversickerung können generell drei Schwankungsbereiche unterschieden werden:

1) Schwankungsbereich kleiner ca. 1 m: Zwischen Kleindietwil und Lotzwil, wo Grundwasser- und Langetespiegel grösstenteils zusammenhängen, im östlichen Teil von Langenthal, wo die Grundwassermächtigkeit mehrheitlich klein ist oder der Grundwasserstauer steil abfällt, in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange betragen die jährlichen Grundwasserspiegelschwankungen weniger als ca. 1 m.

Als Beispiel für den zeitlichen Verlauf der Grundwasserstände sind in Figur 6.4 für zwei Messstationen MAB01 (626.223/21) und LTMB3 (626.229/37) die Ganglinien dargestellt. MAB01 südwestlich von Madiswil repräsentiert das Verhalten des Grundwasserspiegels bei einer Wechselbeziehung mit einem Oberflächengewässer (Exfiltration und direkte Infiltration), LTMB3 dasjenige im östlichen Teil von Langenthal. Beide Ganglinien sind infolge relativ vieler kleiner Wasserstandsänderungen unruhig, diejenige von LTMB3 am augenscheinlichsten.

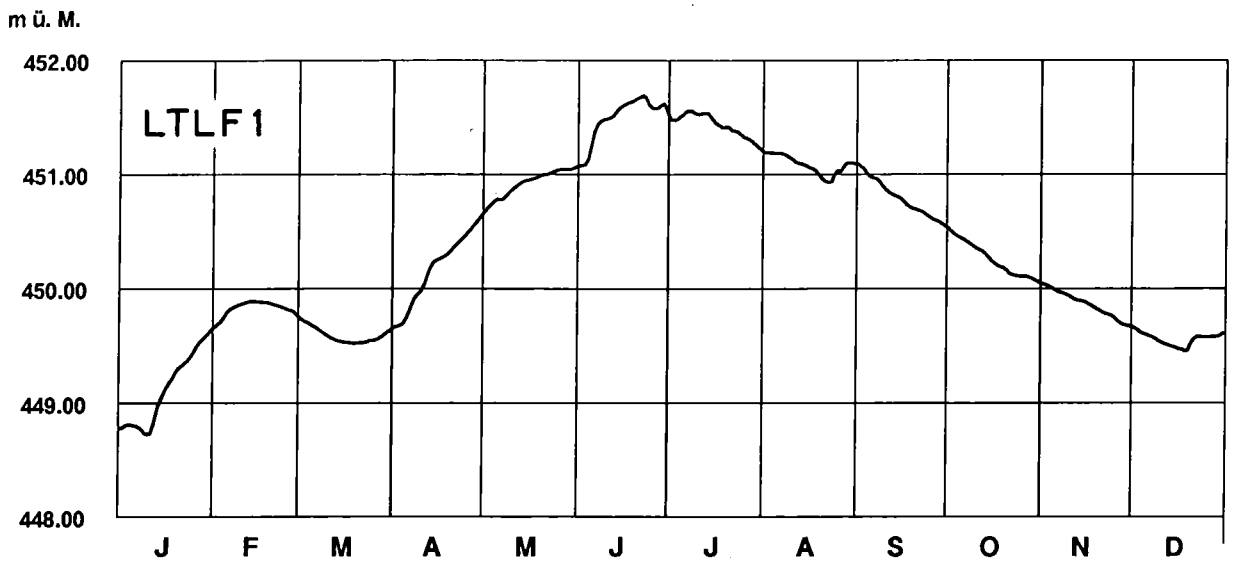
Fig. 6.4: Charakteristische Ganglinien des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für den Schwankungsbereich kleiner ca. 1 m und 1986

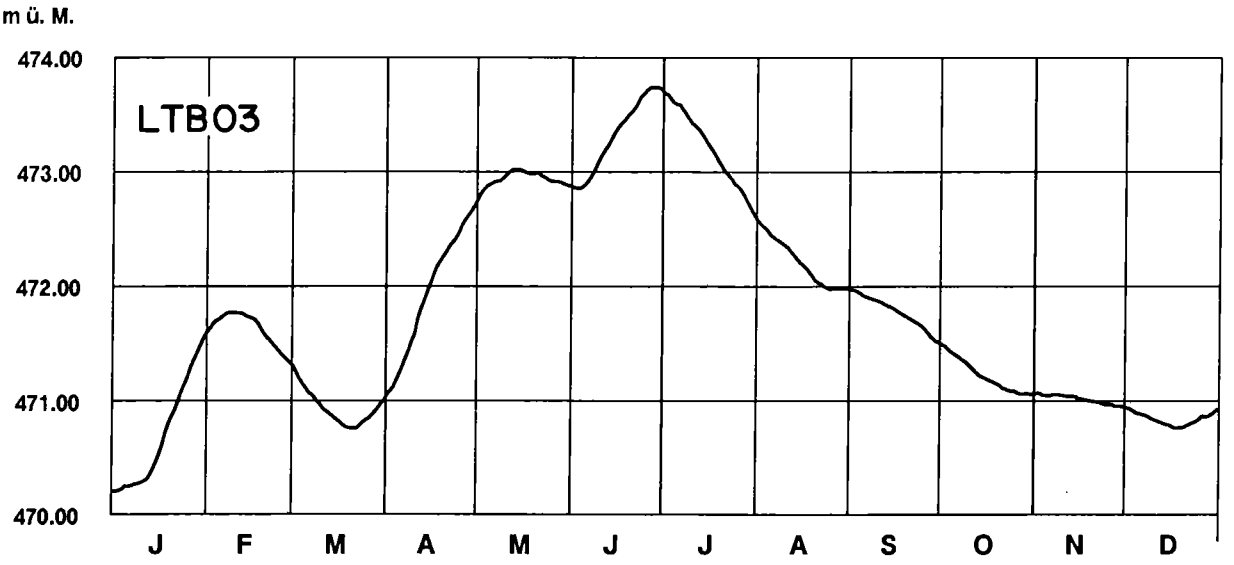


2) Schwankungsbereich 2 bis 3 m: Im Bereich des etwas tiefer anstehenden Grundwasserstauers im westlichen Teil des Grundwasserleiters unterhalb Lotzwil, der Bleienbachrinne, des Langenthalerbeckens oberhalb der Roggwiler-Terrasse und des Exfiltrationsgebietes Brunnmatt betragen die jährlichen Schwankungen durchschnittlich ca. 2 bis 3 m.

Die Grundwasserstände verändern sich relativ langsam. Typisch sind innerhalb eines Jahres wenige Anstiege eingebettet in einen Hauptanstieg, der ungefähr in der ersten Jahreshälfte stattfindet. Anschliessend fallen die Grundwasserstände wieder, ebenfalls während mehreren Monaten mehr oder weniger kontinuierlich. Die in Figur 6.5 dargestellten Ganglinien der Messstation LTLF1 (Grundwasserfassung Hard I im Langenthalerbecken), und der Messstation LTB03 (625.227/3) in der Bleienbachrinne charakterisieren das beschriebene Verhalten. Die etwas unruhigere Ganglinie von LTLF1 ist auf die Grundwasserentnahme zurückzuführen.

Fig. 6.5: Charakteristische Ganglinien des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für den Schwankungsbereich von ca. 2 bis 3 m und 1986

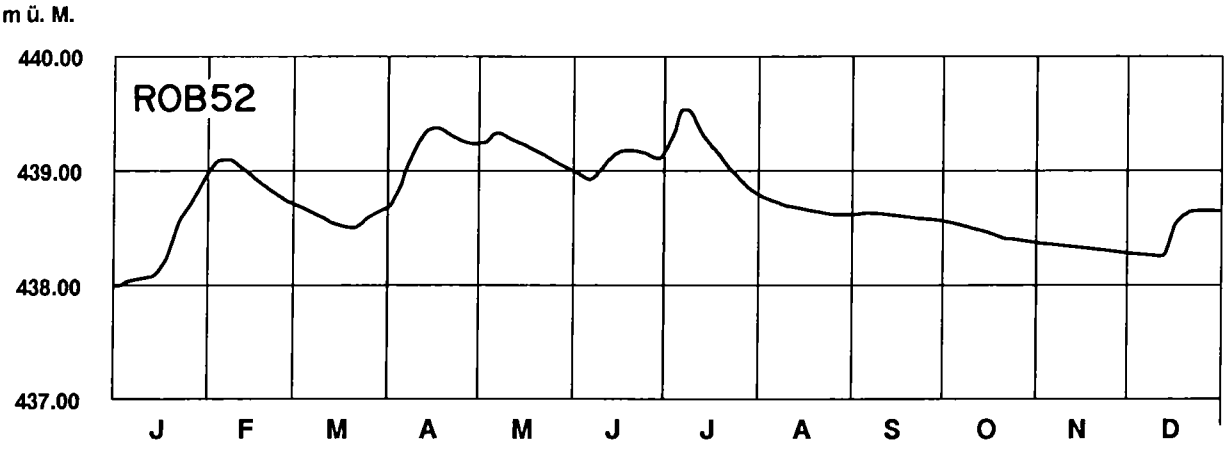




3) Schwankungsbereich 1 bis 2 m: Die Uebergangszonen zwischen den unter 1) und 2) beschriebenen Teilgebieten sind relativ unbedeutend. Einzig im nördlichen Teil des Langenthalerbeckens (gegen das Exfiltrationsgebiet Brunnmatt und in der Roggwiler-Terrasse) nehmen sie grössere Ausmasse an.

Die Ganglinien im Schwankungsbereich 1 bis 2 m verlaufen etwas unruhiger als diejenigen im Schwankungsbereich 2 bis 3 m und wiederspiegeln zeitweise auch den Verlauf der Wasserstandsänderungen der Teilgebiete mit Schwankungen kleiner als 1 m. Als Beispiel wird in Figur 6.6 die Ganglinie der Messstation ROB52 (628.232/7) dargestellt, die am südöstlichen Rand der Roggwiler-Terrasse liegt.

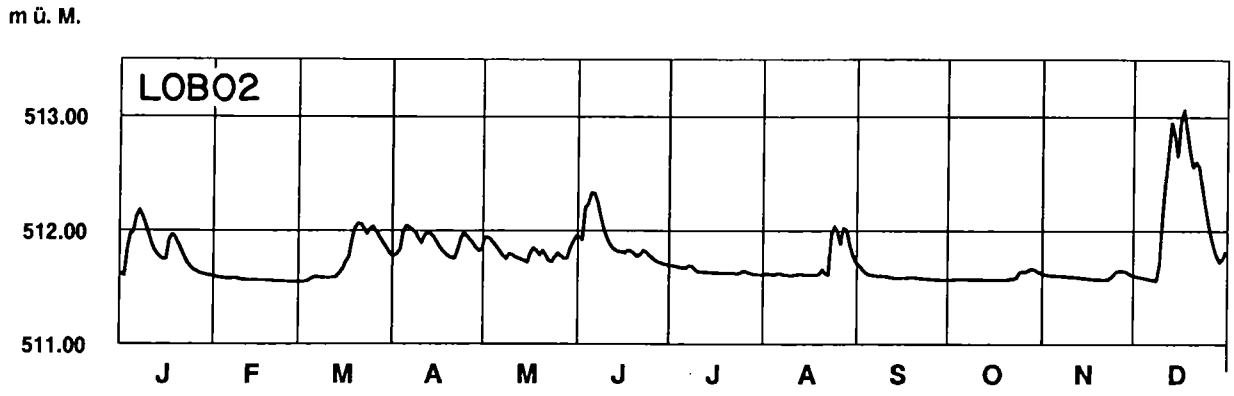
Fig. 6.6: Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für den Schwankungsbereich von ca. 1 bis 2 m und 1986



4) Künstliche Grundwasserspiegelschwankungen: Neben den erläuterten, natürlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels bewirken Wiesenwässerungen und die Hochwasserversickerung im Hardwald zusätzliche Anstiege. Die Gewinnung von Grundwasser für die Trink- und Brauchwasserversorgung erzeugt künstliche Absenkungen, die jedoch grossräumig kaum zu erkennen sind. Einzig im engsten Umfeld der Grundwasserfassungen erreichen sie im Untersuchungsgebiet höchstens ca. 1 m.

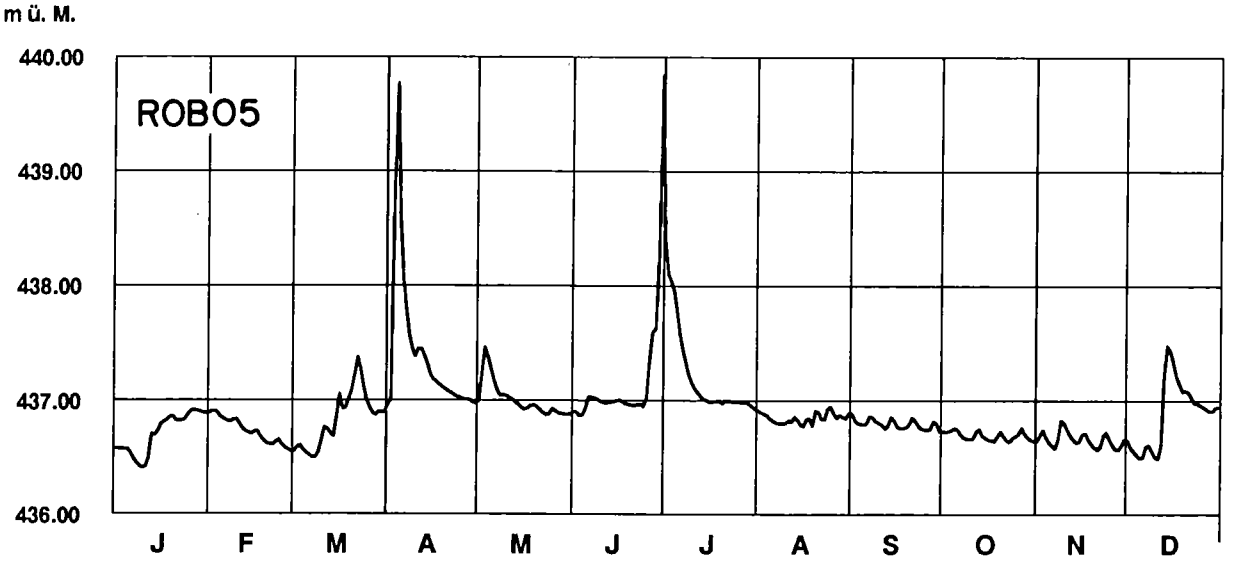
In den Wässerungsgebieten Mattehof und Allme, Lotzwil, vergrössern die Wiesenwässerungen die Schwankungsbereiche von natürlicherweise kleiner 1 m auf nahezu 2 m. Grössere Schwankungen können hier infolge der wässerungsbedingten Exfiltration nicht auftreten. Als Beispiel ist in Figur 6.7 die Ganglinie der Messstation LOB02 (626.225/9, Mattehof) dargestellt worden. Die jeweils während den Wässerungen sprunghaft ansteigenden und die anschliessend ebenso rasch zurückgehenden Grundwasserspiegel sind deutlich erkennbar.

Fig. 6.7: Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für das Wässerungsgebiet Mattehof, Lotzwil im Jahr 1986



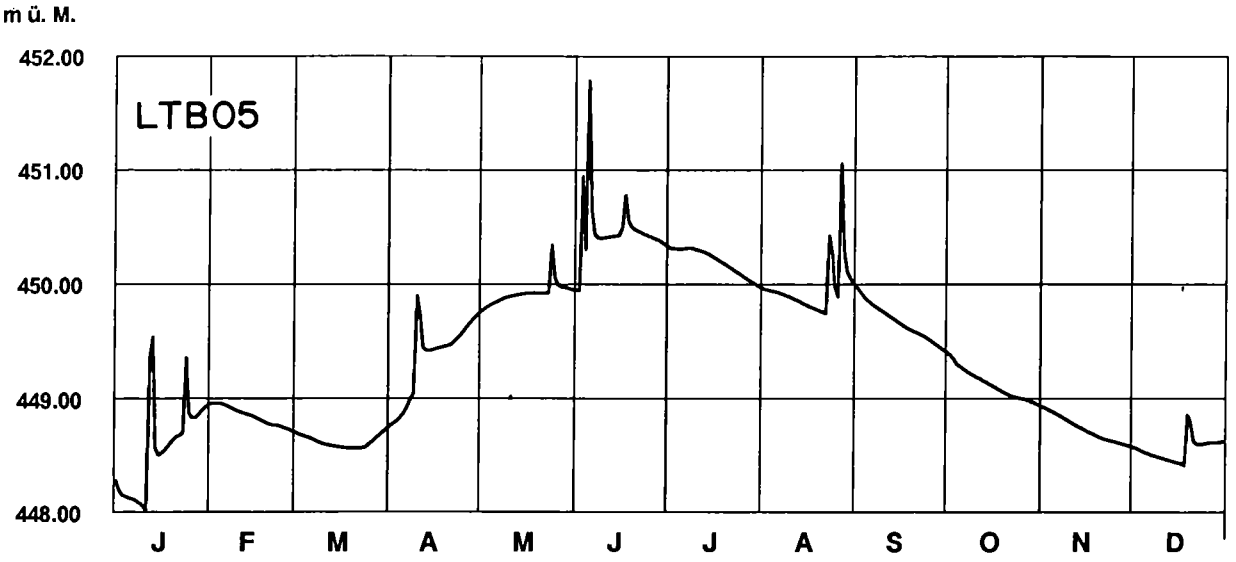
In den Wässerungsgebieten Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal, und Gruenholz, Roggwil, wären die natürlich bedingten Schwankungsbereiche zum Teil kleiner 1 m zum Teil 1 bis 2 m. Durch die Wiesenwässerungen treten Anstiege in der Grössenordnung von 1 bis 3 m auf, so dass die effektiven Schwankungsbereiche ca. 1 bis über 4 m betragen. In Figur 6.8 ist als Beispiel die Ganglinie der Messstation ROB05 (627.232/41) im Wässerungsgebiet Gruenholz dargestellt. Ihr wässerungsbedingtes Verhalten während den Wässerungszeiten ist noch deutlicher zu erkennen als dasjenige von LOB02 in Figur 6.7.

Fig. 6.8: Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) für das Wässerungsgebiet Gruenholz, Roggwil im Jahr 1986



Im Unterhardwald führen die Hochwasserversickerungen der Langete ähnlich wie die Wiesenwässerungen in den Wässerungsgebieten zu sprunghaften Grundwasserspiegelbewegungen. Die Aufzeichnungen für die Messstation LTB05 (626.231/14) zeigen dies in Figur 6.9 deutlich. In den Jahren 1984 bis 1986 variierten die Schwankungsbereiche hier zwischen 5.0 und 5.9 m und lagen damit etwa 2 bis 3 m über den natürlichen im Langenthalerbecken.

Fig. 6.9: Charakteristische Ganglinie des Grundwasserstands (Tagesmittelwerte) im Langete-Hochwasserversickerungsgebiet Hardwald im Jahr 1986



Für fünf der in den Figuren 6.4 bis 6.9 charakterisierten Messstationen, MAB01, LOB02, LTLF1, LTB05, ROB05 sowie für LOB05 (626.227/11) nördlich Lotzwil wurden die Ganglinien der Jahre 1984 bis 1986 in Beilage I aufgezeichnet. Deutlich sind die oben beschriebenen Eigenheiten und Unterschiede auch im mehrjährigen Verlauf erkennbar. Der Unterschied zwischen dem Trockenjahr 1985 und dem Nassjahr 1986 (vgl. Figur 6.2) wird vor allem bei den Messstationen LTLF1 und LTB05 im Langenthalerbecken augenscheinlich. Er ist in den Messstationen, welche in oder der Nähe von Exfiltrationsgebieten liegen, naturgemäss kleiner.

6.2.2 Grundwassermächtigkeit, Flurabstand und Spiegelgefälle

Die Grundwassermächtigkeiten und die Flurabstände in der Beilage III entsprechen ungefähr einem Mittelwasserstand d.h. dem Jahresmittelwert eines Normaljahres (vgl. Abschnitte 6.1.2 und 6.1.3). Die in Figur 6.2 angegebenen Schwankungsbereiche sind naturgemäss identisch mit denjenigen der Grundwassermächtigkeit und des Flurabstandes. Innerhalb eines Jahres verändern sie sich zwischen ca. ±0.2 und ±1.5 m.

Die in Abschnitt 6.1.1 beschriebenen und mit den Isohypsen des natürlichen Grundwasserspiegels in Beilage II dokumentierten Gefällsverhältnisse ändern sich infolge der natürlichen Grundwasserspiegelbewegungen, ausgenommen derjenigen im Langenthalerbecken, relativ wenig. Im Langenthalerbecken, wo die Grundwasserspiegelgefälle äusserst klein sind, beträgt der Höhenunterschied der Grundwasserstände zwischen Bützberg und dem oberen Rand des Exfiltrationsgebietes Brunnmatt bei mittleren Verhältnissen lediglich ca. 7 m. Bei tiefen Grundwasserständen, wie z.B. im Dezember 1985, kann sich die Differenz auf ca. 5 m verringern, bei hohen, wie z.B. im April 1988, auf etwa 9 m vergrössern. Das mittlere Spiegelgefälle bei hohen Grundwasserständen ist somit ungefähr doppelt so gross wie bei tiefen. Bei hohen Grundwasserständen ist somit der Grundwasserabfluss im Langenthalerbecken bedeutend grösser als bei tiefen, einerseits infolge der grösseren Grundwassermächtigkeit, anderseits vor allem aber infolge des grösseren Grundwasserspiegelgefälles. Demgegenüber sind die Grundwasserflüsse zwischen Kleindietwil und Langenthal bedeutend ausgeglichener.

Die durch die Wiesenwässerungen, wie sie während der Untersuchungen durchgeführt worden sind, erzeugten Grundwasserspiegelbewegungen ändern die Strömungsverhältnisse nur lokal und kurzfristig. Regional wirken sie sich nicht bedeutend aus. Massive Langete-Hochwasserversickerungen im Hardwald können dagegen die Strömungsverhältnisse im Langenthalerbecken auch relativ grossräumig beeinflussen: Im Hardwald entsteht ein Grundwasserberg, welcher die Gefällsverhältnisse je nach der Versickerungsmenge für einige Zeit mehr oder weniger ausgeprägt verändert, den Grundwasserzufluss von Bützberg her teilweise rückstaut und sogar bewirken kann, dass Grundwasser zeitweise vom Tannwäldli Richtung Pumpwerk Winkelacker zurückfliesst [12,13,14].

6.2.3 Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986

Im Rahmen der instationären Modellarbeiten wurden für sämtliche Grundwasserzu- und -wegflüsse die Mittelwerte für Zeitschritte von ein bis höchstens fünf Tagen bestimmt. Ausgehend von diesen Daten erfolgte anschliessend die instationäre Grundwasserbilanzierung für die Monatsmittelwerte der Jahre 1984, 1985 und 1986. Mit den Monatsmittelwerten werden kurzfristige Extremwerte ausgeglichen, die jahreszeitlichen Schwankungszyklen kommen dafür aber deutlicher zum Ausdruck.

Figur 6.10a zeigt für das ganze Grundwasservorkommen (Einzellenmodell) oben die Monatsmittelwerte der Grundwasserzuflüsse sowie unten diejenigen der Grundwasserwegflüsse. Zeitlich relativ konstant sind die Grundwasserflüsse im Profil Kleindietwil (ca. 35 l/s), die Langete-Infiltration (ca. 200 l/s) und die Grundwasserentnahmen (ca. 160 l/s). Die Profilwegflüsse bei Bleienbach und vor allem bei Aarwangen sind mit ca. 40 l/s bzw. 5 l/s ebenfalls relativ konstant. Erwartungsgemäss grosse und unregelmässige Schwankungen weist die Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung und der Hochwasserversickerung im Hardwald auf. Aber auch die direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlägen variiert beträchtlich und bleibt im September und Oktober 1985 sogar vollständig aus. Die indirekte Grundwasserneubildung folgt naturgemäss generell der direkten, schwankt aber weniger und systematischer. Sie ist wie die direkte Grundwasserneubildung ebenfalls in der zweiten Jahreshälfte am kleinsten, aber auch dann noch bedeutend.

Bei den Grundwasserwegflüssen variieren die Exfiltrationsmengen der Brunnmatt und der Langete am meisten. Sie weisen einen ähnlichen Verlauf auf wie die indirekte Grundwasserneubildung. Die Maxima treten im ersten Halbjahr auf, die Minima im zweiten. Die Exfiltrationsmengen der Mange sind dagegen bedeutend konstanter. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Grundwasserspiegel bereits oberhalb der Mange direkt an den Langete-Wasserspiegel anschliesst und deshalb nur noch geringfügig schwankt. Aus diesem Grund sind auch die im Gruenholz durchgeführten Wiesenwässerungen in den Schüttungen der Quellen Mange kaum spürbar (vgl. auch Abschnitt 4.1.5).

Figur 6.10b zeigt die aufsummierten monatlichen Zu- und Wegflüsse, sowie die durch sie bewirkten Speicheränderungen. Die aufsummierten Grundwasserzuflüsse variieren bei einem Mittelwert von ca. 1'000 l/s zwischen ca. 500 und 2'000 l/s. Das Maximum liegt ca. 1'000 l/s über, das Minimum ca. 500 l/s unter dem Mittelwert. Die Abweichungen gegen oben sind bedeutend grösser als gegen unten.

Die aufsummierten Grundwasserwegflüsse schwanken infolge der Speicherwirkung des Grundwasserleiters weniger als die Zuflüsse. Das Maximum erreicht ca. 1'600, das Minimum ca. 700 l/s. Auch hier sind die Abweichungen vom Mittelwert, der ebenfalls ca. 1'000 l/s beträgt, gegen oben deutlich grösser als gegen unten.

Langfristig entspricht die Summe der Zuflüsse derjenigen der Wegflüsse, die Summe der positiven Speicheränderung derjenigen der negativen. Innerhalb des Bilanzierungszeitraums von drei Jahren überwogen die Grundwasserzuflüsse geringfügig und die Grundwasserstände lagen Ende 1986 durchschnittlich etwas höher als anfangs 1984. Die Speicheränderungen variieren zwischen ca. -350 und 700 l/s. Die grossen positiven Speicheränderungen treten auf in den Monaten mit

Fig. 6.10a Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986. Monatsmittelwerte der einzelnen Grundwasserzu- und -wegflüsse im Untersuchungsgebiet

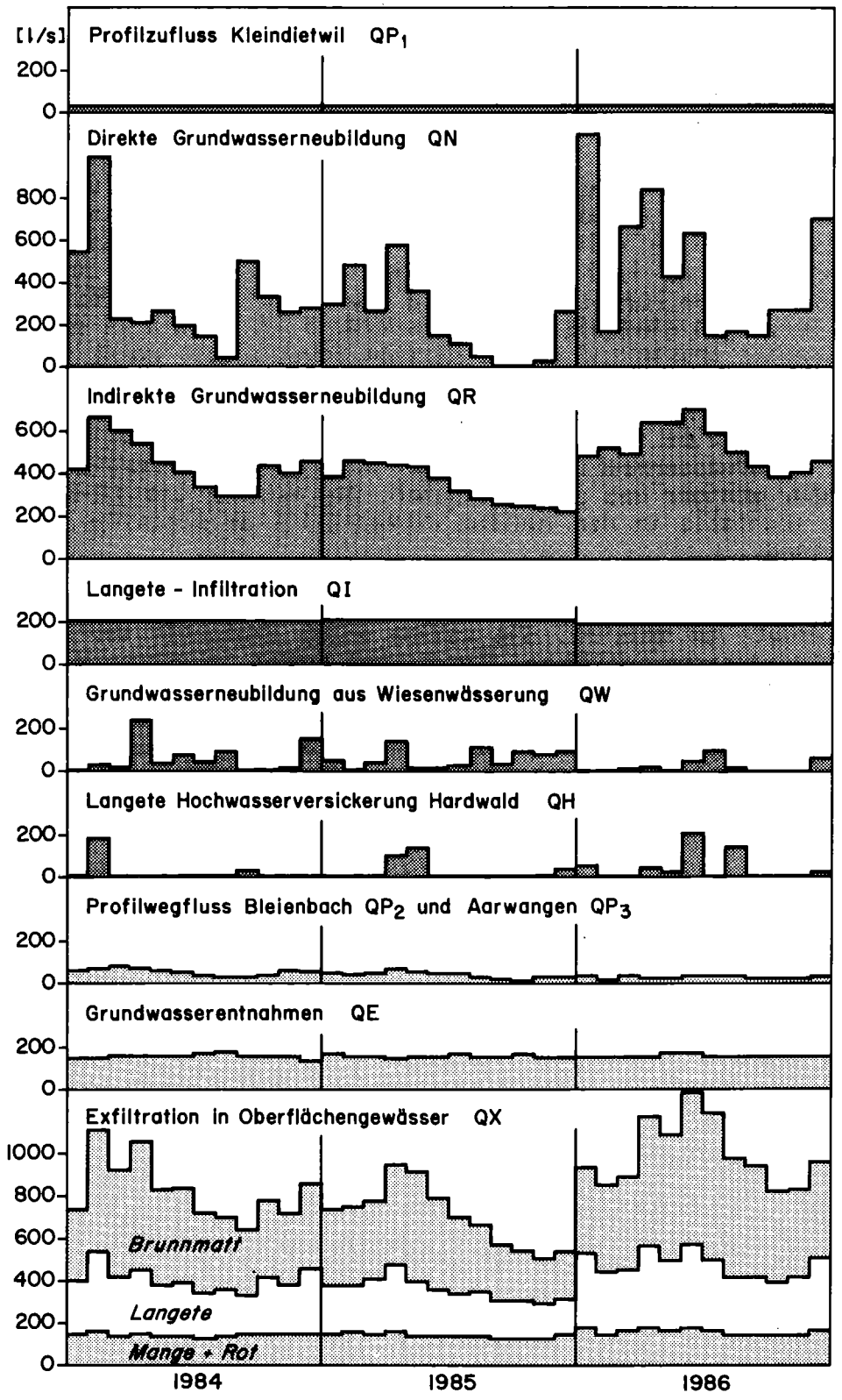
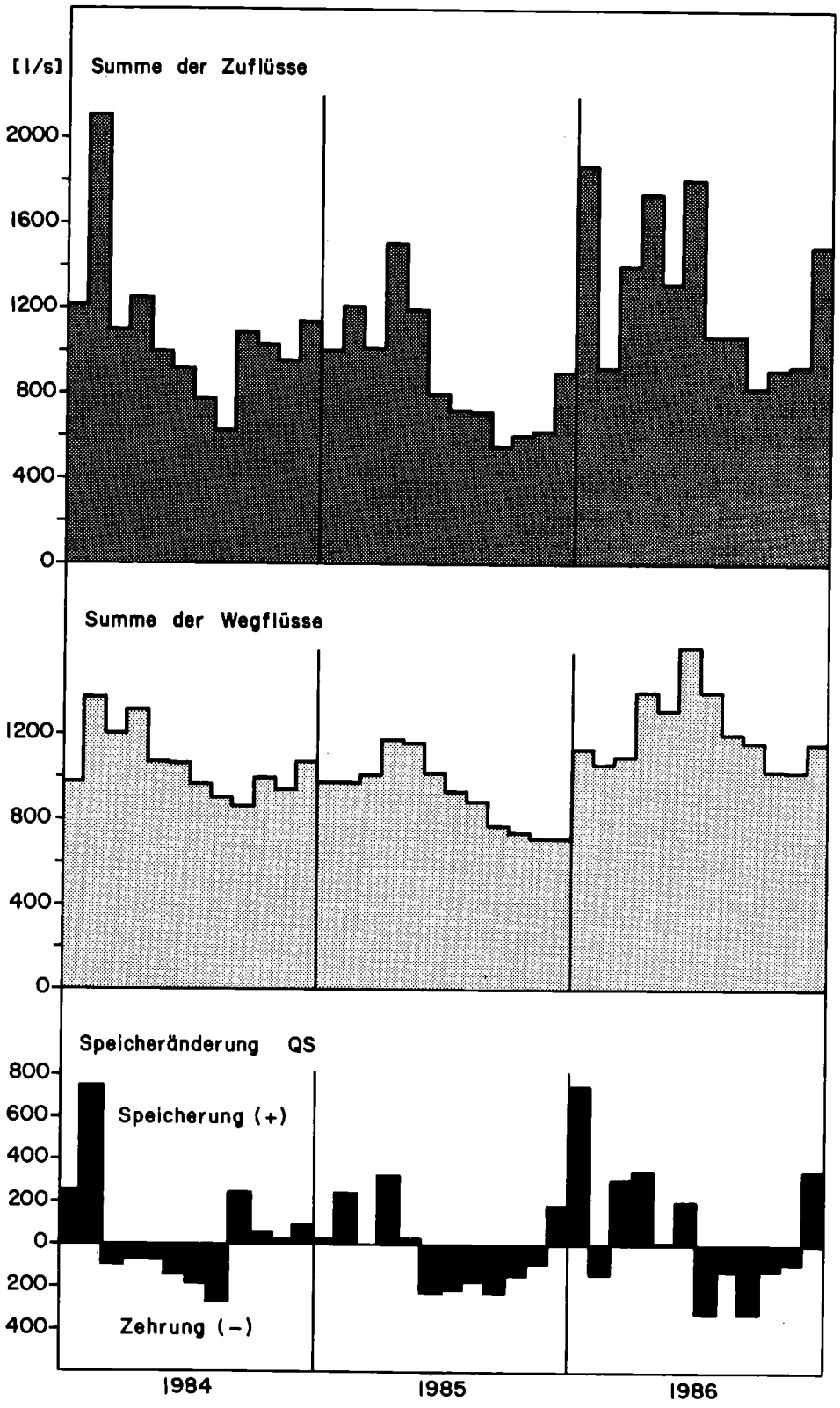


Fig. 6.10b Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986. Monatsmittelwerte der aufsummierten Grundwasserzu- und -wegflüsse und der Speicheränderung im Untersuchungsgebiet



grossen Grundwasserzuflüssen, also mehrheitlich im Herbst und Winter (in den Monaten mit kleinen Verdunstungsmengen). Pro Jahr weisen durchschnittlich fünf Monate positive und sieben Monate negative Speicheränderungen auf. Da die Zu- und Wegflussmengen über die drei Jahre betrachtet praktisch gleich gross sind, kann geschlossen werden, dass der Auffüllvorgang etwa anderthalbmal so rasch abläuft wie der Entleerungsvorgang. Dies bestätigt sich auch mengenmässig. Während die Zehrungen einen durchschnittlichen Monatswert von 160 l/s und einen grössten von 350 l/s aufweisen, liegen diejenigen der Speicherung bei 250 l/s bzw. 700 l/s.

Dank dem Speichermechanismus des Grundwasserleiters waren die monatlichen Grundwasserwegflüsse nie kleiner als 700 l/s, obschon die minimalen Zuflüsse zeitweise nur ca. 500 l/s betrugen. Trockenwetterperioden werden also durch die Speicherfähigkeit des Grundwasserleiter wesentlich entschärft, was sich entsprechend günstig auf die Trink- und Brauchwasserversorgung aber auch auf die Wasserführung in den Oberflächengewässern auswirkt.

Die Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse für die Periode 1984 bis 1986 im Langetental zwischen Kleindietwil und Roggwil (ohne Bleienbachtal) wurden in Tabelle 6.2 zusammen- und in Figur 6.11 dargestellt.

Das untersuchte Grundwasservorkommen im Langetental wird zu ca. 70% von versickertem Niederschlagswasser (direkte und indirekte Grundwasserneubildung), zu ca. 20% von Langete-Infiltration gespeist. Die Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung, Langete-Hochwasserversickerung und der Profilzufluss Kleindietwil erreichen demgegenüber nur gerade ca. 10%.

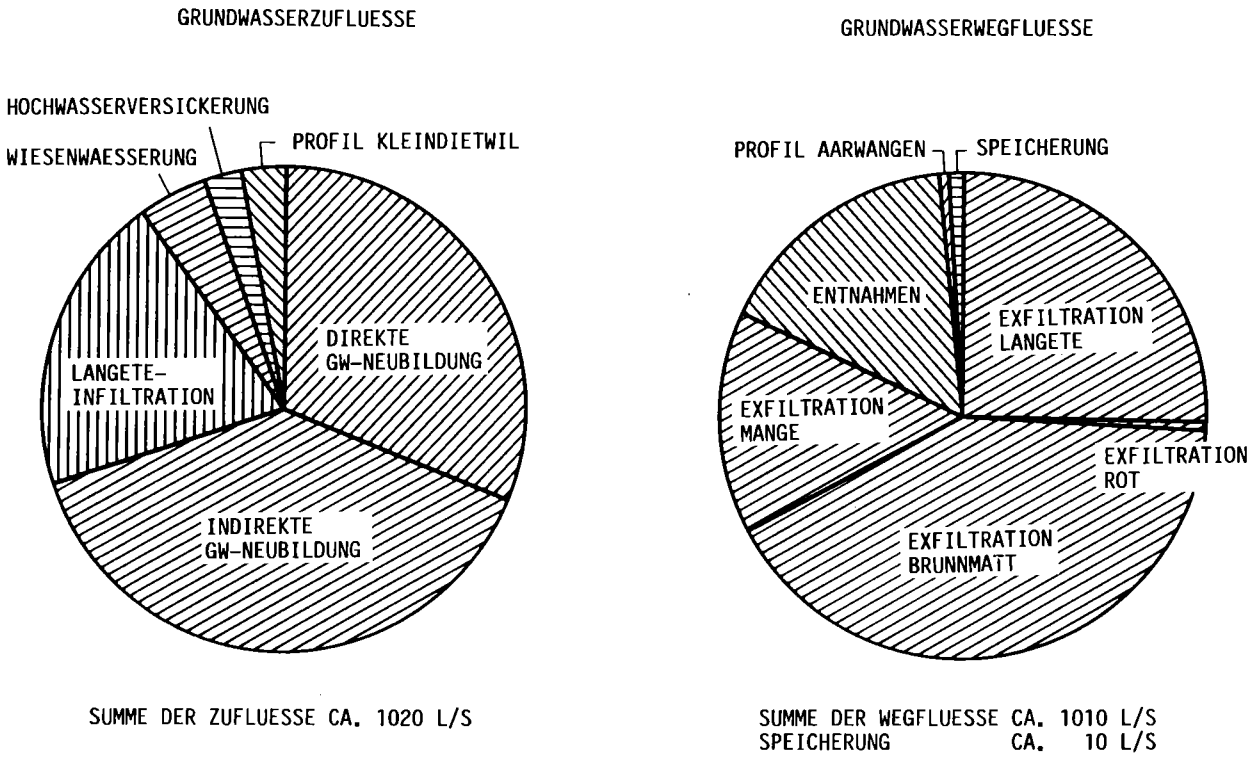
Der Grossteil des Grundwassers, nämlich 85%, exfiltriert in die Langete und in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange. Nur ca. 15% werden für die Trink- und Brauchwasserversorgung genutzt. Weniger als 1 % verlassen den Grundwasserleiter unterirdisch oder exfiltrieren in die Rot.

Tab. 6.2: Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986. Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse für das Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil

Bilanzierungskennziffer	Symbol	Grundwasserfluss [l/s]
<u>Grundwasserzuflüsse</u>		
Profilzufluss Kleindietwil	QP_1	35
direkte Grundwasserneubildung	QN	320
indirekte Grundwasserneubildung	QR	395
Langete-Infiltration	QI	200
Grundwasserneubildung aus Wiesenwässerung	QW	45
Langete-Hochwasserversickerung im Hardwald	QH	25
<u>Grundwasserwegflüsse</u>		
Profilwegfluss Aarwangen	QP_3	5
Grundwasserexfiltration in die Langete, Gewässerabschnitt 1	QX_{L1}	140
Grundwasserexfiltration in die Langete, Gewässerabschnitt 3	QX_{L3}	130
Grundwasserexfiltration in die Rot	QX_R	5
Grundwasserexfiltration Brunnmatt	QX_B	420
Grundwasserexfiltration Mange	QX_M	150[1)]
Grundwasserentnahmen	QE	160
Summe der Zuflüsse		1'020
Summe der Wegflüsse		1'010
Speicheränderung	QS	10

1) Entnahmemengen von ca. 30 l/s sind bei den Grundwasserentnahmen eingerechnet

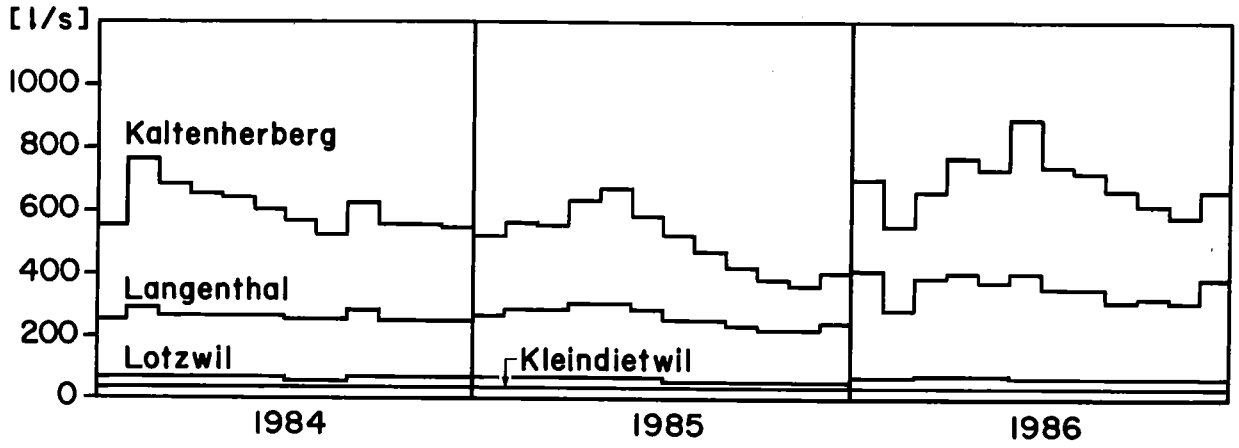
Fig. 6.11: Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986. Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse für das Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil



Figur 6.12 zeigt die Monatsmittelwerte und damit die zeitliche Veränderung der durch die vier Bilanzierungsprofile Kleindietwil, Lotzwil, Langenthal und Kaltenherberg strömenden Wassermengen. Die Durchflussmengen und ihre Schwankungen werden stromabwärts grösser. In den Profilen Kleindietwil und Lotzwil betragen sie im Durchschnitt ca. 35 bzw. 70 l/s und die Monatsmittel variieren zwischen 30 und 40 l/s bzw. 55 und 85 l/s. Im Profil Langenthal erreicht der Mittelwert ca. 300 l/s, bei einem Schwankungsbereich von ca. 220 bis 400 l/s. Der Mittelwert für 1984 bis 1986 im Profil Kaltenherberg ergibt ca. 600 l/s, die Monatswerte liegen zwischen ca. 360 und 890 l/s.

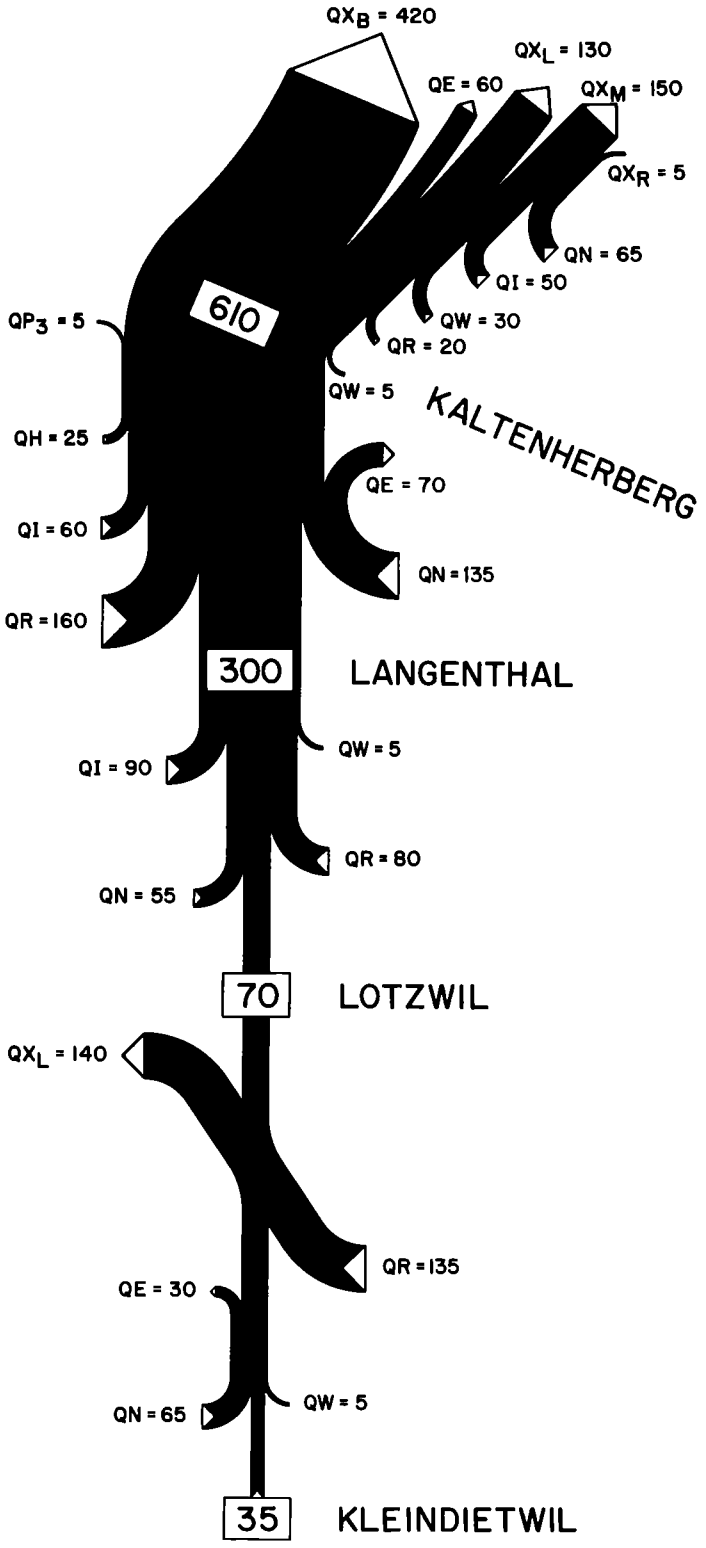
Die im Grundwasserleiter strömenden Wassermengen weisen ihre Maxima generell dann auf, wenn die Grundwasserzuflüsse am grössten sind (vgl. Fig. 6.10a,b). Die Minima treten im allgemeinen ca. ein halbes Jahr später auf.

Fig. 6.12: Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Monatsmittelwerte der Grundwasserflüsse in den vier Bilanzierungsprofilen Kleindietwil, Lotzwil, Langenthal und Kaltenherberg



Einen generellen räumlichen Eindruck über die im Grundwasserleiter strömenden Wassermengen vermittelt Figur 6.13. Sie zeigt als sog. Bilanzierungsschlange die Grundwasserzu- und -wegflüsse zwischen den Bilanzierungsprofilen. Die Zu- und Wegflüsse werden vereinfachend mit Pfeilen veranschaulicht. In Wirklichkeit sind sie räumlich mehr oder weniger verteilt und nicht auf einzelne Punkte konzentriert. Deutlich ist aus Figur 6.13 erkennbar: Der Grundwasserstrom zwischen Kleindietwil und Lotzwil ist mengenmässig relativ klein. Erst unterhalb Lotzwil wird die Grundwassermenge namhaft grösser und erreicht im Bereich des Profils Kalterherberg mit ca. 600 l/s ihr Maximum, bevor sie innerhalb der kurzen Distanz zwischen Kaltenherberg und unterhalb Roggwil auf Null zurückgeht.

Fig. 6.13: Instationäre Grundwasserbilanz 1984 bis 1986 Mittelwerte der Grundwasserzu- und -wegflüsse in l/s mit Berücksichtigung der Speicherung von ca. 10 l/s, dargestellt als Bilanzierungsschlange für das Grundwasservorkommen zwischen Kleindietwil und Roggwil



6.2.4 Wasserbilanz

Eine fachgerechte Grundwasserbilanzierung erfordert den Einbezug der Oberflächenwasserbilanz und der Hydrologischen Bilanz. Die Verknüpfung der drei Bilanzen ermöglicht, allfällige Fehler zu erkennen und zu ergründen, die Bilanzierungsergebnisse zu verbessern und vor allem eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots zu schaffen. Gewisse Differenzen gegenüber den einzelnen Bilanzen sind naturgemäss möglich.

In Figur 6.14 wurden für die Mittelwerte der Jahre 1984 bis 1986, welche etwa den zeitgenössischen mittleren hydrologischen Verhältnissen entsprechen, die Verknüpfung der drei Bilanzen für das Langetental zwischen Kleindietwil und Roggwil als Einzellenmodell bildlich dargestellt. Wie bereits in der Grundwasserbilanz deutlich zu erkennen war, (vgl. Figuren 6.10 und 6.11) zeigt sich auch hier deutlich: Der Grossteil des Grundwassers wird aus versickertem Niederschlagswasser gebildet. Augenscheinlicher manifestiert sich aber der enge Zusammenhang zwischen Langete-Wasserführung und Grundwasserfluss. Langete-Infiltration, Wiesenwässerung und Langete-Hochwasserversickerung vermindern die Wasserführung der Langete zeit- und streckenweise, während der Grundwasserfluss dadurch grösser wird. Grundwasserentnahmen und Grundwasserexfiltration vermindern den Grundwasserfluss und speisen Quellbäche und Langete.

Veränderungen in der Grundwassernutzung bzw. -bewirtschaftung, in der Oberflächenwassernutzung und/oder am Oberflächenwasserabfluss verändern die dargestellten Zusammenhänge und können je nach Gesichtspunkt zu Verbesserungen oder Verschlechterungen führen.

Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Flüssen wirkt sich auch qualitativ aus. Mit dem grossen Anteil von versickertem Niederschlagswasser können bedeutende Mengen von Schadstoffen aus dem Boden ins Grundwasser eingetragen werden (vgl. Abschnitt 6.4); verschmutztes Langete-Wasser könnte infolge der Infiltration, Wiesenwässerung und Hochwasserversickerung ebenfalls das Grundwasser in einem gewissen Umfang gefährden.

Ein differenzierteres Bild über die Zusammenhänge zwischen dem Niderschlag, dem Oberflächenwasserabfluss und dem Grundwasser vermittelt Figur 6.15. Für die vier Teilgebiete zwischen den Profilen Kleindietwil, Lotzwil, Langenthal, Kaltenherberg und Roggwil zeigt sie die Verknüpfung der Wasserbilanzen, ebenfalls für mittlere hydrologische Verhältnisse. Die Figur wird im nächsten Abschnitt im Zusammenhang mit dem nutzbaren Grundwasserdargebot beschrieben. Sie zeigt für das Grundwasser gegenüber der Bilanz in Figur 6.13 kleine, verknüpfungsbedingte Abweichungen.

Fig. 6.14: Wasserbilanz: Verknüpfung der Mittelwerte 1984 bis 1986 der Grundwasserbilanz, Oberflächenwasserbilanz und Hydrologischen Bilanz zwischen den Profilen Kleindietwil und Roggwil (Einzellenmodell), Flüsse in [l/s]

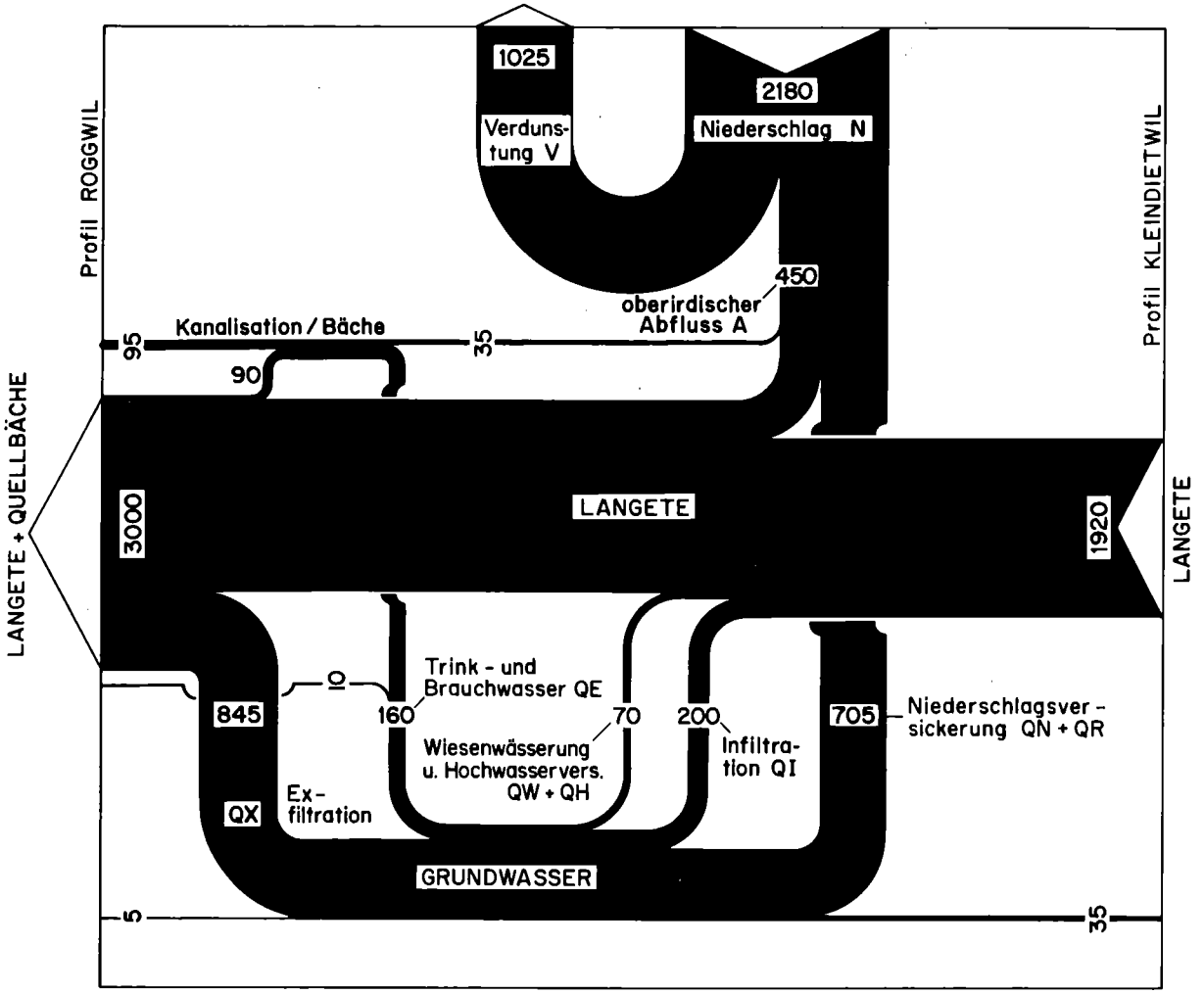
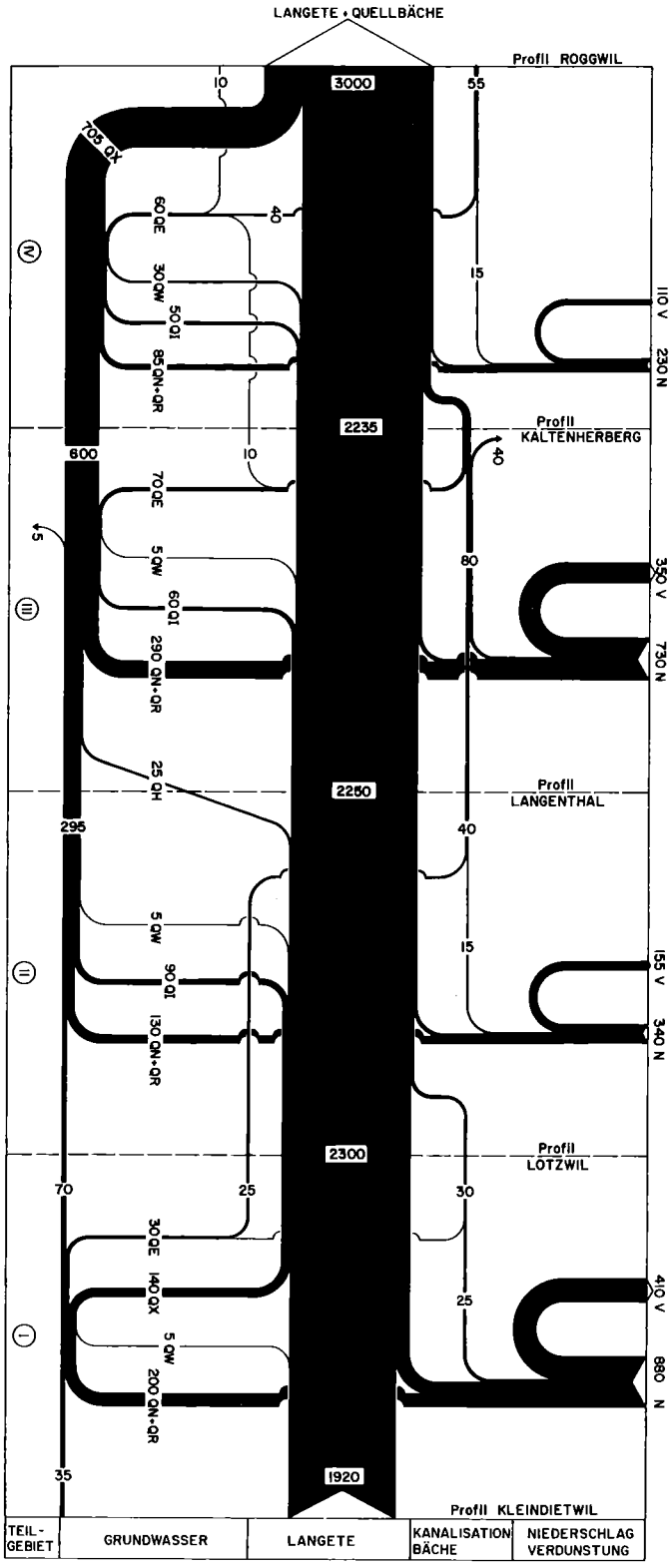


Fig. 6.15: Wasserbilanz: Verknüpfung der Mittelwert 1984 bis 1986 der Grundwasserbilanz, Oberflächenwasserbilanz und Hydrologische Bilanz für die 4 Teilgebiete zwischen den 5 Bilanzierungsprofilen, Flüsse in l/s



6.3 Nutzbares Grundwasserdargebot

Aus fassungs- und schutztechnischen, rechtlichen, politischen und oekologischen Gründen ist es unmöglich, die in den Figuren 6.14 und 6.15 angegebenen Grundwassermengen zu nutzen. Das nutzbare Grundwasserdargebot ist kleiner, aber je nach der persönlichen Gewichtung und der sich zeitlich ändernden versorgungstechnischen und politischen Beurteilung der einzelnen Aspekte keineswegs eine unveränderliche Gösse. Zudem können allfällige künstliche Eingriffe in den Wasserkreislauf das nutzbare Grundwasserdargebot mengen- und gütemässig wesentlich beeinflussen. Im folgenden wird aus hydrogeologischer Sicht aufgrund der dargestellten Wasserbilanzen das nutzbare Grundwasserdargebot innerhalb der 4 Teilgebiete zwischen den 5 Bilanzierungsprofilen mengenmässig beurteilt. Auf die qualitativen Gesichtspunkte wird im folgenden Abschnitt hingewiesen. Die gemachten Angaben gelten naturgemäss für die Strömungs- und Abflussverhältnisse der Bilanzierungsjahre 1984 bis 1986.

6.3.1 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Kleindietwil und Lotzwil

Zwischen den Profilen Kleindietwil und Lotzwil beträgt die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ca. 200 l/s, die Grundwasserexfiltration ca. 140 l/s. Genutzt werden lediglich ca. 30 l/s. Eine vermehrte Nutzung würde in erster Linie die Grundwasserexfiltration und damit die Langete-Wasserführung vermindern. Dies könnte bei den möglichen Nutzungsmengen in Kauf genommen werden, da der Langete-Abfluss hier im Mittel gut ca. 2000 l/s beträgt und auch in den trockenen Jahren 1976 oder 1985 praktisch nie 500 l/s unterschritten hat.

Wegen der geringen Grundwassermächtigkeit ist es jedoch fassungstechnisch schwierig, örtlich bedeutende Grundwassermengen zu entnehmen. Ohne die bestehenden Fassungsanlagen in Madiswil und Lotzwil und den Grundwasserfluss unterhalb des Profils Lotzwil wesentlich zu tangieren und unter Berücksichtigung der notwendigen Freiflächen zur Ausscheidung von Schutzzonen könnte die Grundwasserentnahme gegenüber heute etwa verdoppelt werden. Zusammen mit den bestehenden Fassungsanlagen ergäbe sich somit ein nutzbares Grundwasserdargebot von ca. 60 l/s.

6.3.2 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Lotzwil und Langenthal

In diesem Teilgebiet entstehen vor allem aus Niederschlagsversickerung und Langete-Infiltration durchschnittlich ca. 220 l/s Grundwasser. Abgesehen von unbedeutenden privaten Entnahmemengen unterbleibt hier eine Nutzung.

Infolge der relativ dichten Ueberbauung und der hydrogeologischen Gegebenheiten ist aus gewässerschutztechnischen Gründen eine Grundwassernutzung praktisch ausgeschlossen. Einzig im Wässerungsgebiet Allme wären die notwendigen Freiflächen für eine Schutzzone vorhanden. In diesem Bereich sind jedoch Grundwassermächtigkeit, Durchlässigkeitsverhältnisse und Grundwasserfluss klein und es könnten dauernd lediglich einige wenige l/s entnommen werden. Das nutzbare Grundwasserdargebot ist somit gering und beläuft sich etwa auf 10 l/s.

Wasserwirtschaftlich betrachtet, ist es kein Verlust, dass zwischen Lotzwil und Langenthal praktisch kein Grundwasser genutzt werden kann: Das Grundwasser strömt vollumfänglich in das unterliegende Teilgebiet, in dem bedeutend günstigere Voraussetzungen für eine Grundwassernutzung herrschen.

6.3.3 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Bützberg/Langenthal und Kaltenherberg

In diesem Teilgebiet liegt der wesentlichste Teil des Langenthalerbeckens mit den hydrologisch und schutztechnisch günstigsten Voraussetzungen für leistungsfähige Grundwasserfassungen innerhalb des Untersuchungsgebiets.

Die Grundwasserneubildung beträgt im Mittel ca. 380 l/s, ca. 290 l/s infolge Niederschlag, ca. 60 l/s aus Langete-Infiltration, ca. 25 l/s aus der Hochwasserversickerung im Hardwald, ca. 5 l/s aus Wiesenwässerung. Mit den für die Region wichtigsten Grundwasserfassungen (Pumpwerke Winkelacker, Tannwäldli, Hard I, II, III, Unterhard und Mumenthal) werden durchschnittlich ca. 70 l/s Trink- und Brauchwasser gefördert, was knapp 20% der Grundwasserneubildung und knapp 12 % des Grundwasserwegflusses entspricht. Das nicht genutzte Grundwasser strömt praktisch vollumfänglich Richtung Kaltenherberg und Brunnmatt.

Prognoserechnungen mit dem Grundwassermodell (vgl. Abschnitt 5.3) haben gezeigt, dass mit zusätzlichen und verbesserten Grundwasserfassungen die Grundwasserentnahme problemlos auf 150 l/s gesteigert werden kann. Das zusätzlich geförderte Wasser fehlt jedoch im und unterhalb des Profils Kaltenherberg grösstenteils im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt.

Der Rückgang der Wiesenwässerung, die Abnahme der direkten und indirekten Grundwasserneubildung infolge der Versiegelung, eine eventuelle Verminderung der Langete-Infiltration infolge Bodenerosion, Gewässerverschmutzung usw. führten in den letzten 50 Jahren vor allem unterhalb Lotzwil neben einem gesteigerten Langete-Abfluss zu einer Verkleinerung der Grundwassermengen und dementsprechend zu einer verminderten Grundwasserexfiltration. Da die Grundwasserneubildung künftig eher weiter zurückgehen wird (fehlende Langete-Hochwasserversickerung nach dem Bau des Entlastungsstollens, wahrscheinliche Verminderung der Langete-Infiltration infolge fehlender Hochwasser [50], ev. weiterer Rückgang der Wiesenwässerungen) werden die Exfiltrationsmengen auch ohne zusätzliche Grundwassernutzung weiter zurückgehen.

So gesehen liegt heute das nutzbare Grundwasserdargebot im Teilgebiet durchschnittlich bei ca. 100 l/s. Eine deutlich gesteigerte Nutzung ist bei der Wahrung der Wasserführung der Quellbäche nur vertretbar, wenn gleichzeitig die Grundwasserneubildung vergrössert wird durch künstliche Grundwasseranreicherung oder gezielte Wiesenwässerung in dafür geeigneten Matten. In Anbetracht der oben erwähnten Zusammenhänge und Ursachen ist für eine Anreicherungsmenge von 100 bis 200 l/s die Entnahme aus der Langete naheliegend. Damit könnten das nutzbare Grundwasserdargebot mindestens auf ca. 150 l/s gesteigert, das Ausbleiben der Langete-Hochwasserversickerung und gewisse Infiltrationsrückgänge abgedeckt werden.

6.3.4 Nutzbares Grundwasserdargebot zwischen Kaltenherberg und Roggwil

Die Grundwasserneubildung in diesem Teilgebiet beträgt im Durchschnitt ca. 165 l/s, ca. 85 l/s aus Niederschlagsversickerung, ca. 50 l/s aus Langete-Infiltration, ca. 30 l/s aus Wiesenwässerung. Durch die bestehenden öffentlichen und privaten Fassungsanlagen werden durchschnittlich ca. 60 l/s genutzt, was ca. 35% der Grundwasserneubildung und ca. 9 % der exfiltrierenden Wassermenge entspricht.

Eine zusätzliche Grundwasserentnahme reduziert die Exfiltrationsmengen. Am wenigsten augenscheinlich wäre eine Reduktion im Exfiltrationsbereich längs der Langete innerhalb und unterhalb der Steilstufe und im Exfiltrationsgebiet Mange, wo zur Zeit u.a. ca. 50 l/s der Quellen Mange und Kiltberg ungenutzt durch Überläufe in die Langete fliessen. Aus gewässerschutztechnischen Gründen sollte das Grundwasser oberhalb Roggwil und infolge der hydrogeologischen Gegebenheiten möglichst örtlich verteilt gefasst werden.

In die Quellbäche der Brunnmatt exfiltrieren oberhalb der Messstationen im Durchschnitt ca. 310 l/s (vgl. Abschnitt 4.2.2). Die übrigen Exfiltrationsmengen erreichen ca. 400 l/s. Eine Steigerung der bisherigen Entnahmemengen von ca. 60 l/s auf ca. 100 l/s, welche mit einer optimalen Standortwahl vor allem zu Lasten der Exfiltrationsmengen unterhalb der Messstationen durchgeführt werden könnte, würde die Exfiltrationsverhältnisse in der Brunnmatt nicht merkbar verändern und die heutigen Exfiltrationsmengen unterhalb der Quellbäche lediglich um ca. 10 % reduzieren. In Anbetracht dieser bescheidenen Reduktion ergibt sich für dieses Teilgebiet ein nutzbares Grundwasserdargebot von ca. 100 l/s.

Auch in diesem Teilgebiet wird ein allfälliger Rückgang der Wiesenwässerung und der Langete-Infiltration sowie die weitere Bodenversiegelung die Exfiltrationsmengen und damit das nutzbare Grundwasserdargebot beeinträchtigen. Beide würden von der oben erwähnten Grundwasseranreicherung naturgemäss profitieren.

6.3.5 Zusammenstellung des nutzbaren Grundwasserdargebotes

In Tabelle 6.3 sind die aufgrund der hydrologischen Verhältnisse der Jahre 1984 bis 1986 ermittelten nutzbaren Grundwasserdargebote, die durchschnittlich entnommenen Trink- und Brauchwassermengen sowie die konzessionierten Entnahmemengen der Teilgebiete aufgeführt.

Der Vergleich zeigt: In den Teilgebieten Kleindietwil/Lotzwil und Kaltenherberg/Roggwil sind die nutzbaren Grundwasserdargebote deutlich grösser als die zur Zeit effektiv entnommenen Wassermengen und liegen im Bereich der konzessionierten. Im Teilgebiet Lotzwil/Langenthal wird zur Zeit kein Grundwasser entnommen und es liegen auch keine Konzessionen vor. Im Teilgebiet Bützberg/ Langenthal/Kaltenherberg sind 300 l/s konzessioniert, das nutzbare Grundwasserdargebot ist mit den heute genutzten 70 l/s annähernd erreicht.

Gesamthaft betrachtet ist das nutzbare Grundwasserdargebot fast doppelt so gross wie der momentane Wasserverbrauch der Region. Aus Tabelle 6.3 kann der Eindruck entstehen, dass zusätzliche Grundwassermengen problemlos zu entnehmen sind. Mit den bestehenden Fassungsanlagen ist dies jedoch nicht möglich. Es müssten neue, teilweise kostspielige Anlagen (Sickergalerien, Transportleitungen etc.) erstellt werden. Es ist deshalb naheliegender, die vor allem fassungstechnisch günstigsten Verhältnisse im Hardwald besser auszunutzen und die Mehrentnahmen aus diesem Teilgebiet teilweise mit Grundwasseranreicherungen zu kompensieren.

Tabelle 6.3: Nutzbares Grundwasserdargebot, durchschnittlich genutzte sowie konzessionierte Grundwassermengen in l/s.

Teilgebiet	nutzbares Grundwasser-dargebot	1984 bis 1986 durchschnittlich entnommen	konzessionierte Wassermenge
Kleindietwil/ Lotzwil	60	30	50
Lotzwil/ Langenthal	10	0	0
Bützberg/Langenthal/ Kaltenherberg	100	70	300
Kaltenherberg/ Roggwil	100	60	120
Total	270	160	470

6.4 Grundwasserqualität

6.4.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Grundwassers werden einerseits durch Gestein und Boden im Einzugsgebiet, anderseits aber auch durch sogenannte anthropogene Einflüsse, vor allem Abgänge aus Haushalt, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft massgebend bestimmt.

Mit den physikalisch-chemischen Standarduntersuchungen gemäss Abschnitt 3.5.3 und Tabelle 3.11 kann normalerweise die qualitative Beschaffenheit des Grundwassers generell beschrieben werden. Zugleich können sie erste Hinweise geben, ob anthropogene Einflüsse vorliegen.

Mit den Standarduntersuchungen lassen sich allerdings nicht alle Grundwasserverunreinigungen erkennen. So werden vor allem die synthetischen und die schwer abbaubaren organischen Stoffe nicht erfasst, die zum Teil bereits in sehr kleinen Konzentrationen die Grundwasserqualität erheblich beeinträchtigen. Zu dieser Stoffgruppe gehören u.a. die leichtflüchtigen Chlor-Kohlenwasserstoffe und die Pestizide. Sie können nur mit speziellen Untersuchungsverfahren nachgewiesen werden.

Im Schweizerischen Lebensmittelbuch (LMB) [48] im Kapitel "Trinkwasser" und in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung [49] werden für die einzelnen Untersuchungsparameter sog. Qualitätsziele und Toleranzwerte angegeben.

Aus den Standarduntersuchungen sind meistens die Parameter Nitrat, Chlorid, Sulfat und Gesamthärte besonders wichtig für eine erste Beurteilung der Grundwasserqualität. Ihre Bedeutung wird im folgenden, teilweise anhand der Ausführungen im LMB kurz erläutert, und die im Untersuchungsgebiet vom 2. bis 10. Juli 1986 erhobenen Werte werden in Tabelle 6.4 zusammengestellt (Lage der Messstellen in Beilage I und in Figur 6.16). Auf die Wiedergabe der übrigen sowie der seither im Rahmen der permanenten Güteüberwachung erhobenen, in [43] publizierten und diskutierten Parameter, wird hier verzichtet.

Nitrat (NO_3-): Qualitätsziel: $\leq$ 25 mg/l [48]; Toleranzwert: 40 mg/l [49]

Ein erhöhter Nitratgehalt deutet häufig auf eine Ueberlastung des Bodens mit Düngstoffen hin. Sofern kein oder höchstens in Spuren Ammonium und Nitrit vorhanden sind und der Toleranzwert nicht überschritten wird, kann angenommen werden, dass eine vollständige Oxidation der Stickstoffverbindungen vorliegt und das Wasser den hygienischen Anforderungen noch entspricht.

Nitrat ist ein natürlicher in den meisten Trinkwassern vorkommender Inhaltsstoff. Schädlich ist nur das Uebermass. Das Nitrat selbst ist nicht gesundheitsgefährdend. Problematisch werden erhöhte Gehalte dann, wenn das Nitrat im menschlichen Körper oder unter Umständen schon in Vorratsgefässen bakteriell zu Nitrit (NO_2-) umgewandelt wird. Dieses reagiert mit dem Hämoglobin des Blutes, der Sauerstoff wird nicht mehr an das Blut abgegeben sondern verbindet sich mit dem Eisen des Blutfarbstoffes. Es kommt zur Sekundärtoxität mit den Krankheitsbildern der Methämoglobinämie, vor allem gefürchtet als "Blausucht" für den Säugling. Daneben tritt, dies ist für die meisten Hygieniker heute sicher, eine Tertiärtoxität auf. Das sekundär gebildete Nitrit setzt sich im

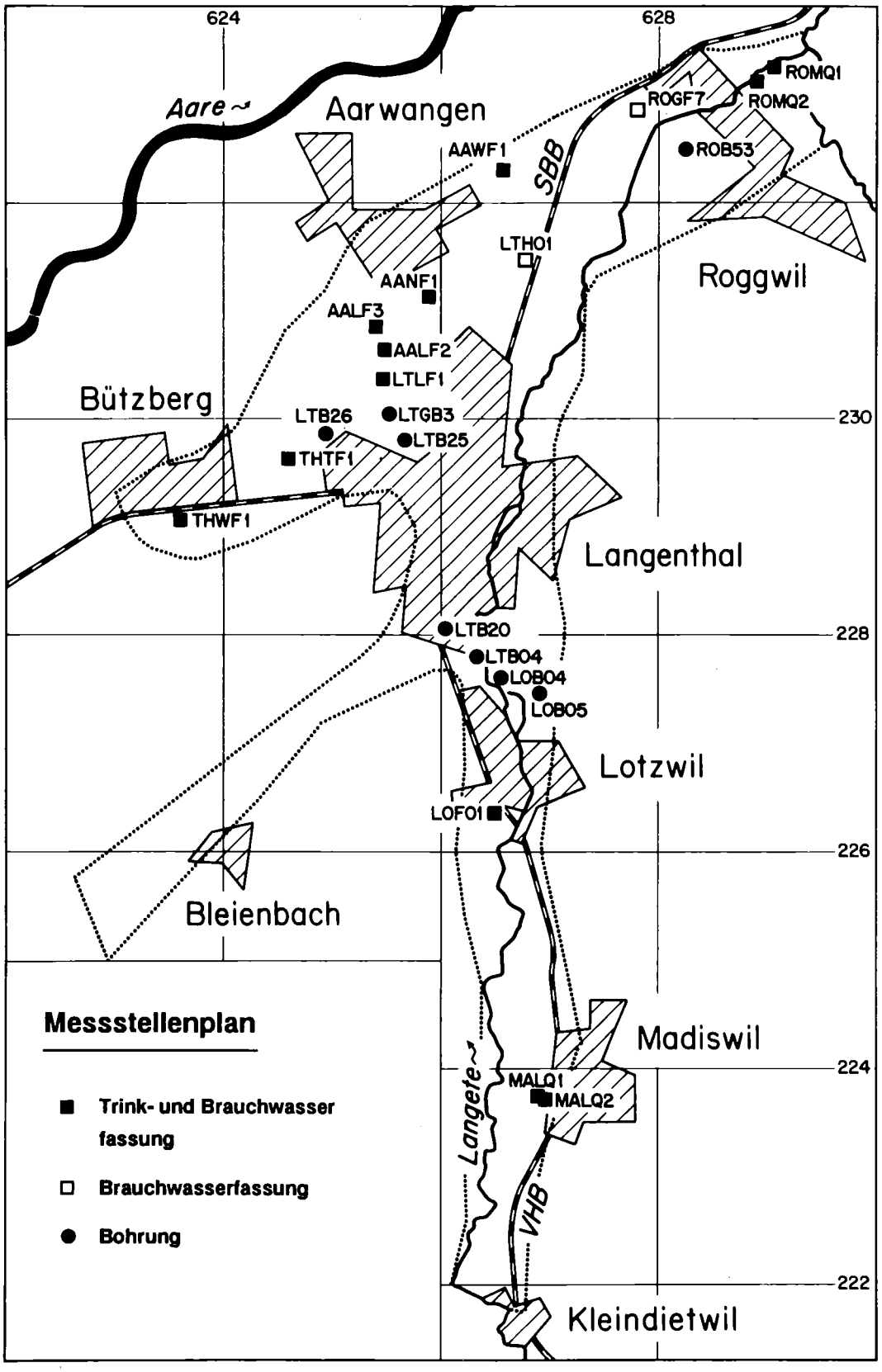
menschlichen Körper mit organischen Aminen oder Amiden aus der Nahrung um und bildet Nitrosamine sowie Nitrosamide, die krebserregend sein können.

Wasser mit hohem Nitratgehalt liefert einen wesentlichen Beitrag zum Gesamt-Nitratgehalt der Nahrung. Die Trinkwasserbelastung mit Nitrat ist daher so gering als möglich zu halten.

Tab. 6.4: Physikalisch-chemische Untersuchung vom 2. bis 10. Juli 1986: Nitrat-, Chlorid-, Sulfatgehalte, Gesamthärte (*ab 1987 ebenfalls ins permanente Messstellennetz für die Güteüberwachung aufgenommen)

Messstelle	Nitrat [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Gesamthärte [mmol/l]
MALQ1 (626.223/3)	46	14	16	3.3
MALQ2 (626.223(3)	48	21	18	3.3
LOFO1 (626.226/1)	30	11	13	3.0
LOBO5 (626.227/11)	49	26	21	3.5
LOBO4*(626.227/13)	-	-	-	-
LTBO4*(626.227/14)	-	-	-	-
LTB20 (626.228/3)	38	15	17	2.7
THWF1 (623.229/1)	34	13	18	3.3
THTF1 (624.229/50)	27	11	20	3.2
LTB26 (624.229/61)	37	14	16	3.3
LTB25 (625.229/35)	20	19	19	3.2
LTGB3 (625.230/34)	21	18	25	3.3
LTLF1 (625.230/1)	24	19	23	3.3
AALF2 (625.230/7)	27	14	19	3.3
AALF3 (625.230/33)	28	17	21	3.3
AANF1 (625.231/7)	24	19	20	3.2
LTHO1 (626.231/1)	34	18	20	3.1
AAWF1 (626.232/29)	26	13	19	3.2
ROGF7 (627.232/1,2,5)	26	12	15	2.7
ROB53*(628.232/5)	-	-	-	-
ROMQ1 (629.233/1)	38	15	17	3.4
ROMQ2 (628.233/15)	34	14	14	3.1
Mittel	32	16	18	3.2

Fig. 6.16: Permanentes Chemiemessstellennetz Langenthal (ab 1987)



Von den 19 Untersuchungsresultaten erfüllen nur gerade 4 das Qualitätsziel mit einem Nitratgehalt kleiner 25 mg/l; 12 Werte liegen zwischen 26 und 40 mg/l; 3 Werte überschreiten den Toleranzwert von 40 mg/l. Bei einem Mittelwert von 32 mg/l variieren die Werte zwischen 20 und 49 mg/l (vgl. Tabelle 6.4).

Die räumliche Verteilung chemischer Parameter darzustellen, ist immer problematisch, wenn die beprobten Messstellen relativ weit auseinander liegen. Zudem können die einzelnen Messwerte beeinflusst sein durch relativ kleinräumige Einflüsse, wie z.B. die Bewirtschaftungsart des näheren Einzugsgebietes von Fassungen. Eine Interpolation unter Einbezug solcher Werte würde deshalb ein falsches Bild ergeben. Tendenzmässig treten vor allem oberhalb Langenthal, in Bützberg und östlich Roggwil die höchsten, im Gebiet der Schulanlagen im Hard, Langenthal, die tiefsten Nitratwerte auf.

Generell müssen die erhobenen Nitratgehalte als hoch bezeichnet werden, auch wenn der Toleranzwert nur vereinzelt überschritten wird. Die zeitliche Entwicklung der Nitratbelastung muss aufmerksam verfolgt werden. Gestützt auf die langjährige Messreihe der Messstellen MALQ1 und MALQ2 (vgl. Abschnitt 7.2) muss damit gerechnet werden, dass ohne Aenderung der Düngepraxis (z.B. dem Pflanzenbedarf angepasste Düngungspläne, reichlich bemessene Güllengruben) und der Bodenbewirtschaftung (z.B. Vermeidung der Winterbrache, Untersaaten beim Maisanbau) die Nitratwerte weiter ansteigen werden. Die Roggwiler-Terrasse ist daher bereits 1988, das restliche untere und mittlere Langetental 1991 in das Kantonale Ursachenbekämpfungsprogramm aufgenommen worden.

Der Nitratgehalt der Langete schwankt zwischen 25 und 30 mg/l. Er ist für Oberflächengewässer hoch und liegt nur wenig unter dem Mittelwert des Grundwassers. Durch die Infiltration und die Wiesenwässerung wird deshalb der Nitratgehalt des Grundwassers nicht entscheidend verbessert. Eine Verminderung der Infiltration oder das Aufheben der Wiesenwässerungen würde somit umgekehrt auch nicht zu einer Qualitätseinbusse führen. Weit mehr ins Gewicht fallen, könnte das Umbrechen der Wässermatten zu Ackerland, weil dadurch unter Umständen (Winterbrache, Maisanbau etc.) die Nitratzufuhr ins Grundwasser gesteigert würde.

Chlorid (Cl^-): Qualitätsziel: $\leq$ 20 mg/l Toleranzwert: 200 mg/l

Erhöhte Chloridgehalte, die nicht geologisch bedingt sind (Nähe des Meeres, Vorkommen von Steinsalz usw.), können auf anthropogene Einflüsse durch Düngstoffe, Abwasser aller Art oder Abfalldeponien hindeuten. Gehalte über 80 mg/l können die Korrosion von Leitungen fördern, solche über 200 mg/l machen sich im Geschmack bemerkbar.

Tabelle 6.4 zeigt die Chloridgehalte der Messkampagne im Juli 1986.

Sie sind generell tief und variieren bei einem Mittelwert von 16 mg/l zwischen 11 und 26 mg/l. Mit Ausnahme von zwei Werten oberhalb Langenthal erfüllen sie das Qualitätsziel. Die beiden Werte knapp über dem Qualitätsziel stammen von Messstellen mit hohem Nitratgehalt. Es kann angenommen werden, dass die Chloridgehalte von Düngerbelastung herrühren.

Der Chloridgehalt der Langete entspricht generell denjenigen des Grundwassers.

Sulfat (SO_4^{2-}): Qualitätsziel: 10 bis 50 mg/l Toleranzwert: 200 mg/l

Wasser das bestimmte geologische Ablagerungen (z.B. Gips) oder aber Bauschuttdeponien durchfliesst, kann erhöhte Sulfatgehalte aufweisen.

Der Toleranzwert nimmt Rücksicht auf die erhöhte Korrosionsanfälligkeit von Leitungen und Beton. Gesundheitlich sind höhere Werte unbedenklich, falls sie auf calciumsulfathaltigem Untergrund beruhen und der Magnesiumgehalt gleichzeitig nicht 50 mg/l überschreitet. Die Magnesiumgehalte, die hier nicht speziell aufgeführt sind, liegen unter 20 mg/l.

Der Mittelwert der Sulfatgehalte beträgt 18 mg/l, die einzelnen Werte variieren gemäss Tabelle 6.4 zwischen 13 und 25 mg/l. Tendenzmässig ist der Sulfatgehalt im oberen und mittleren Teil des Langenthalerbeckens im Mittel leicht höher als oberhalb Langenthal und in der Roggwiler-Terrasse.

Der Sulfatgehalt der Langete ist ebenfalls relativ konstant, beträgt im Mittel ca. 14 mg/l und ist damit geringfügig tiefer als im Grundwasser.

Gesamthärte: Qualitätsziel: 1.5 bis 2.5 mmol/l Toleranzwert: offen

Die Gesamthärte vermittelt ein Bild über den Gehalt an Erdalkalien. Sie wird in mmol/l oder in franz. Härtegrade [°fr] angegeben. Im Volksmund sind Bezeichnungen mit weich, hart etc. üblich. Die Zusammenhänge gehen aus Tabelle 6.5 hervor.

Tab. 6.5: Gesamthärte in [mmol/l] und [°fr] mit den dazugehörigen Bezeichnungen

Gesamthärte [mmol/l]	Gesamthärte [°fr]	Bezeichnung
0 bis 0.7	0 bis 7	sehr weich
0.7 bis 1.5	7 bis 15	weich
1.5 bis 2.5	15 bis 25	mittelhart
2.5 bis 3.2	25 bis 32	ziemlich hart
3.2 bis 4.2	32 bis 42	hart
über 4.2	über 42	sehr hart

In gesundheitlicher Hinsicht haben weder hartes noch weiches Wasser eine Bedeutung. Jedoch in vielen technischen Bereichen, z.B. bei Wasch- und Reinigungsprozessen, bei Mischvorgängen von Wasser unterschiedlicher Härte sind die Härteeigenschaften bedeutsam.

Beim Waschen gehen die Calcium- und Magnesiumsalze, welche im wesentlichen die Gesamthärte bestimmen, mit den Fettsäuren der Seifen oder Seifenersatzprodukte unlösliche Verbindungen ein. So werden beispielsweise durch 1'000 Liter hartes Wasser etwa 2.5 bis 3.5 kg Waschpulver gebunden, ohne die Reinigung der Wäsche zu fördern, lediglich als erheblicher Mehrverbrauch.

Mischwasser mit stark unterschiedlicher Härte, z.B. die Vermischung von hartem Grund- mit weichem Seewasser, sind in der Regel aggressiv und fördern die Korrosion.

In Tabelle 6.4 sind die im Juli 1986 ermittelten Gesamthärten angegeben. Sie liegen im Übergangsbereich zwischen ziemlich hart und hart und ergeben einen Mittelwert von 3.2 mmol/l.

Das Wasser der Langete ist mit einer Gesamthärte von durchschnittlich 2.0 bis 2.5 mmol/l deutlich weicher als das Grundwasser.

6.4.2 Bakteriologische Eigenschaften

Mit den standardmässigen bakteriologischen Untersuchungen wird geprüft, wieviele Kolonien bildende Einheiten (KBE) von aeroben mesophilen Keimen, der Bakterienart Escherichia coli und der Bakteriengruppe Enterokokken im Grundwasser vorhanden sind. Die erwähnten beiden letzten Bakteriengruppen gedeihen unter den gleichen Wachstumsverhältnissen wie die Krankheitserreger verschiedener epidemischer Darmkrankheiten (Cholera, Typhus, Sommerruhr usw.). Enterokokken sind etwas resistenter als Escherichia coli und lassen sich deshalb auch noch ein paar Wochen nach der Kontamination des Wassers mit Darmkeimen (z.B. Gülle) nachweisen.

Nach der Eidg. Verordnung über die Hygienisch-Mikrobiologischen Anforderungen an Lebensmittel von 1987 gelten folgende Toleranzwerte für Trinkwasser:

Trinkwasser (unbehandelt)		KBE
- an der Quelle	aerobe mesophile Keime	100/ml
- im Verteilnetz	aerobe mesophile Keime	300/ml
- an beiden Stellen	Escherichia coli	nn/100 ml
	Enterokokken	nn/100 ml

nn = nicht nachweisbar

Auf bakteriologische Untersuchungen wird nomalerweise bei grossflächig angelegten Kampagnen mit mobilen Pumpen für physikalisch-chemische Untersuchungen verzichtet, da die Gefahr besteht, dass allfällig nachgewiesene Keime, Escherichia coli und Enterokokken durch die Entnahmeinstallation eingebracht wurden. Vielmehr werden die bakteriologischen Untersuchungen auf das durch die öffentlichen Wasserversorgungen und Brunnengenossenschaften geförderte Grund- und Quellwasser beschränkt.

Im Rahmen der im Juli 1986 durchgeführten Kampagne (vgl. Abschnitt 6.4.1) sind daher keine bakteriologischen Untersuchungen vorgenommen worden. Die durch den Kantonschemiker periodisch durchgeführten bakteriologischen Untersuchungen zeigen: Das geförderte Grundwasser entspricht in bakteriologischer Hinsicht normalerweise den gesetzlichen Anforderungen an Trinkwasser.

6.4.3 Schadstoffbelastung des Grundwassers

Im Langenthalerbecken wurden während unserer Untersuchungsperiode verschiedenerorts leichtflüchtige Chlor-Kohlenwasserstoffe (CKW) im Grundwasser festgestellt. Die vorgenommenen Spezialuntersuchungen, ihre Ergebnisse und die entsprechenden Sanierungsmassnahmen sind in [12,13,14] ersichtlich und werden hier, da sie nicht zum Untersuchungsprogramm gehören, nicht speziell erörtert.

Im Rahmen von speziellen Untersuchungskampagnen wurde vom Kantonalen Labor in den Jahren 1987 und 1988 das Trink- und Brauchwasser im Kanton Bern gezielt nach den gebräuchlichsten Pestiziden untersucht. In den Wasserproben von verschiedenen Fassungen im Untersuchungsgebiet sind Spuren der Pestizide Atrazin und Simazin gefunden worden. Die Atrazin-Gehalte (und auch sein Abbauprodukt Desatral) überschritten teilweise den Toleranzwert (0.1 µg/l je Substanz, 0.5 µg/l insgesamt [49]) bis zu 5 mal. Beide Pestizide werden sowohl für den Strassen- und Geleiseunterhalt als auch in der Landwirtschaft (Atrazin im Maisanbau, Simazin im Obstbau) verwendet. Mit der Herabsetzung der zulässigen Einsatzmengen und einzelnen Verboten (vgl. unter anderem Eidg. Stoffverordnung 1986; Weisungen der Bundesämter für Verkehr, für Umwelt, Wald und Landschaft, der Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil) sind erste wichtige Schritte für eine notwendige Ursachenbekämpfung unternommen worden. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob damit der angestrebte Erfolg erreicht werden kann.

Altdeponien können gefährliche Stoffe enthalten, die über das Sickerwasser ins Grundwasser gelangen und dort zu erheblichen Beeinträchtigungen der Wasserqualität führen. Die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Altdeponien stellen daher eine potentielle Gefährdung des Grundwassers und damit des Trinkwassers dar. Mit sog. Leitparameter-Untersuchungen (auch als Screening bezeichnet) kann rasch in einem ersten Schritt abgeklärt werden, ob Beeinträchtigungen des Grundwassers durch Altdeponien vorliegen. Als Leitparameter für anorganische Schadstoffe werden Bor und Sulfat verwendet, die als signifikante Indikatoren für Hausmüll bzw. Bauschutt gelten. Für den Nachweis von organischen Schadstoffen lassen sich die sog. ECD- und FID-Fingerprints verwenden. Sie geben einen qualitativen Überblick über die Anzahl der organischen Stoffe im Grundwasser. Die ECD-Nachweisreaktion eignet sich vor allem für den Nachweis von polaren Substanzen wie z.B. chlor- oder sauerstoffhaltige Verbindungen. Für solche Verbindungen können Nachweisgrenzen von 0.01 µg/l erreicht werden. Mit den FID-Fingerprints werden alle Substanzen erfasst, die mindestens eine C-H-Bindung aufweisen, die Empfindlichkeit ist jedoch mit ca. 5 µg/l niedriger als beim ECD-Fingerprint [51].

Ungefähr entlang eines Stromstreifens zwischen der Messstelle LTGB3 (625.230/34), die unmittelbar unterhalb der Altdeponie Burri im Hard, Langenthal, liegt, bis zum Grundwasserpumpwerk (AALF3, 625.230/33) ist einmal eine sog. Leitparameter-Untersuchung vorgenommen worden. Sie bezweckte eine generelle Beurteilung, ob im Hardwald Spuren von Deponie-Sickerwasser festzustellen sind und zeigte: Die Konzentrationen des Leitparameters Sulfat liegen im Bereich der natürlichen, geogenen Werte. Der Leitparameter Bor konnte dagegen in LTGB3 eindeutig nachgewiesen werden. Dies lässt darauf schliessen, dass anorganische Substanzen aus der Altdeponie Burri sickern. Mit ECD- und FID-Fingerprints konnten keine weiteren organischen Belastungen nachgewiesen werden.

7. MENGEN- UND GÜTEMÄSSIGE VERÄNDERUNGEN DES GRUNDWASSERVORKOMMENS

Der Wasser- und damit der Grundwasserhaushalt wird im Langetental schon seit Jahrhunderten durch den Menschen ausserordentlich beeinflusst. So bauten die Mönche von St. Urban und ihre Helfer im Mittelalter den Kanal zwischen Langenthal und der Rot, der noch heute den Langetelauf bildet, legten im Langetental ein weitverzweigtes Grabensystem an, betrieben eine relativ intensive Bewässerung [5] und reicherten damit zeitweise das Grundwasser beachtlich an. Ein natürlicher, von Menschen unbeeinflusster Grundwasserhaushalt war in den letzten Jahrhunderten gar nie vorhanden. Die in den letzten Jahrzehnten festgestellten mengenmässigen Veränderungen im Grundwasserhaushalt sind dementsprechend nicht allein auf neue Aktivitäten der Menschen, sondern auch auf **veränderte** zurückzuführen, z.B. auf das Auflassen der Wiesenwässerungen.

Mengenmässige Veränderungen eines Grundwasservorkommens widerspiegeln sich in den Grundwasserständen, den Exfiltrationsmengen und Quellschüttungen. Sofern entsprechende Messreihen vorhanden sind, können sie leicht erkannt werden. Für die Zeit vor dem Aufbau des kantonalen Messstellennetzes durch das WEA während der letzten ca. 15 Jahren [7] liegen lediglich von wenigen Grundwasserständen und Quellschüttungen brauchbare Messdaten vor. Bei den Mengenmessungen fehlen häufig Angaben über Messdatum, Messmethode, ob die Werte geschätzt sind, ungefähr einem Mittelwert entsprechen oder extreme Verhältnisse beschreiben. Zudem sind die Messstandorte meistens objektbezogen, zeitweise künstlich beeinflusst (Trinkwasserfassungen) und nicht typisch für das ganze Grundwasservorkommen.

Langfristige gütemässige Veränderungen von Grundwasservorkommen sind oft noch schwieriger zu beurteilen als mengenmässige, da vollständige Messreihen für die physikalisch-chemischen und die oben erwähnten hydraulischen Eigenschaften des Grundwassers vorliegen sollten.

Die im folgenden beschriebenen Veränderungen während der letzten ungefähr 30 bis 50 Jahre basieren daher vor allem auf wenigen, örtlich beschränkten und teilweise unvollständigen Messreihen. Sie haben deshalb mehrheitlich halbquantitativen Charakter und zeigen lediglich den generellen Trend.

7.1 Quantitative Veränderungen

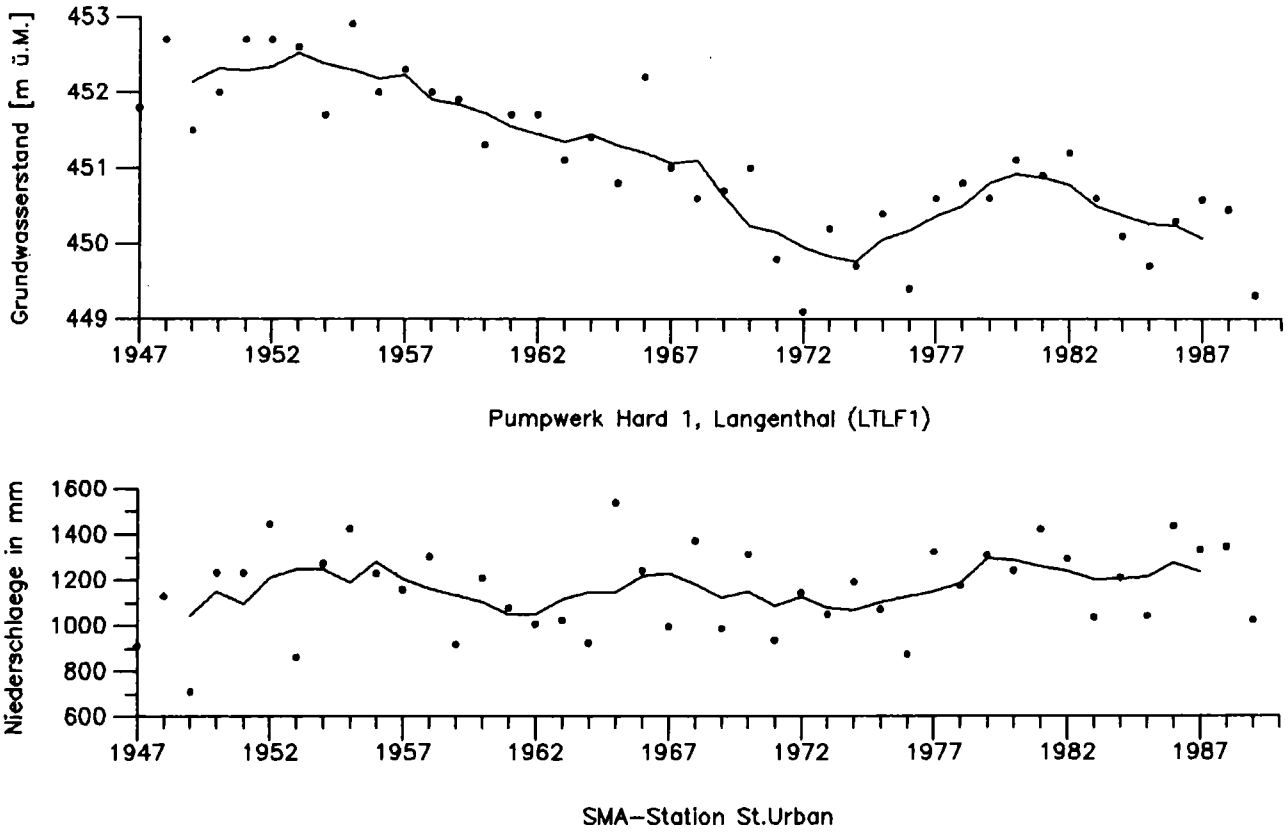
7.1.1 Rückgang des Grundwasserspiegels

In der Messstelle LTLF1 im Hardwald (Grundwasserfassung Hard I) werden seit 1947 die Grundwasserstände kontinuierlich aufgezeichnet. 1984 wurde diese Messstelle in das permanente Messstellennetz des WEA eingegliedert. Ihre Daten werden seither im Hydrographischen Jahrbuch des Kantons Bern [7] publiziert. Sie sind für die natürlichen Grundwasserstandsänderungen im Zentrum des Langenthalerbeckens charakteristisch, wenn die pumpbedingten Absenkungen wie bei den folgenden Auswertungen eliminiert werden.

Figur 7.1 zeigt die Jahresmittel der Grundwasserstände 1947 bis 1989 in m ü.M.. Bei einem Mittelwert von 451.2 variieren sie zwischen 452.9 und 449.1. Von Jahr zu Jahr können die Jahresmittelwerte zum Teil beträchtlich ändern, im Maximum knapp 1.5 m, im Durchschnitt ca. 0.6 m. Dies ist grösstenteils auf die unter-

schiedlichen Niederschlagsverhältnisse zurückzuführen. Die in Figur 7.1 ebenfalls abgebildeten jährlichen Niederschlagssummen der SMA-Station St. Urban liegen zwischen 710 und 1'541 mm, das Mittel der dargestellten Zeitperiode beträgt ca. 1'170 mm und ist damit praktisch gleich gross wie das langjährige Mittel (1901 bis 1989) von ca. 1'150 mm. Von Jahr zu Jahr variieren die Niederschlagssummen durchschnittlich ca. 230 mm, im Maximum (1964/1965) ca. 620 mm. Die grosse Niederschlagssumme 1965 von 1'541 mm (= Maximum der Zeitperiode 1901 bis 1989) und damit verbunden die hohen Grundwasserstände Ende 1965 waren mit ein Grund für den hohen mittleren Grundwasserstand im Jahr 1966.

Fig. 7.1: Jahresmittel der Grundwasserstände der Messstelle LTLF1 im Hardwald, Jahressummen der Niederschläge der SMA-Station St. Urban sowie gleitende Mittel über 5 Jahre (Ganglinien). Messperiode 1947 bis 1989.



Allgemeine Trends können besser hervorgehoben werden durch gleitende Mittelwerte, weil damit die jährlichen Ereignisse eine untergeordnetere Rolle spielen. In Figur 7.1 sind daher als Ganglinien die gleitenden Mittel für 5 Jahre der Grundwasserstände und der Niederschlagssummen dargestellt worden. (Berechnet wie in Abschnitt 3.2.1). Währenddem die gleitenden Mittel der Niederschlagssummen mit Ausnahme der Trockenperiode anfangs der 60-er Jahre (vgl. auch Fig. 3.4) mehr oder weniger regelmässig um den langjährigen Mittelwert pendeln, fallen die Grundwasserstände bis 1974 annähernd kontinuierlich, steigen anschliessend bis 1980 an, um dann wiederum zu fallen.

Anhand dieser Figur wird sichtbar: Der Grundwasserstand im Hardwald ist zwischen 1946 und 1986 um rund 2 m zurückgegangen. Am markantesten war der Rückgang bis ca. 1975 mit ca. 3 m. Anschliessend hat sich der Grundwasserstand wieder etwas erholt.

In den übrigen Gebieten des Grundwasservorkommens dürften während der letzten ca. 40 Jahre die Rückgänge des Grundwasserspiegels zeitlich ähnlich, jedoch weniger stark erfolgt sein: Zwischen Kleindietwil und Langenthal höchstens wenige Dezimeter, wegen dem grösstenteils engen Zusammenhang zwischen Langete- und Grundwasserspiegel, in der Roggwiler-Terrasse je nach der Entfernung zu den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange und der Exfiltrationsstrecke der Langete einige Dezimeter bis etwa einen Meter.

Die Ursachen des Rückgangs der Grundwasserspiegel werden im Abschnitt 7.1.3 kurz erörtert.

7.1.2 Rückgang der Grundwasserexfiltration

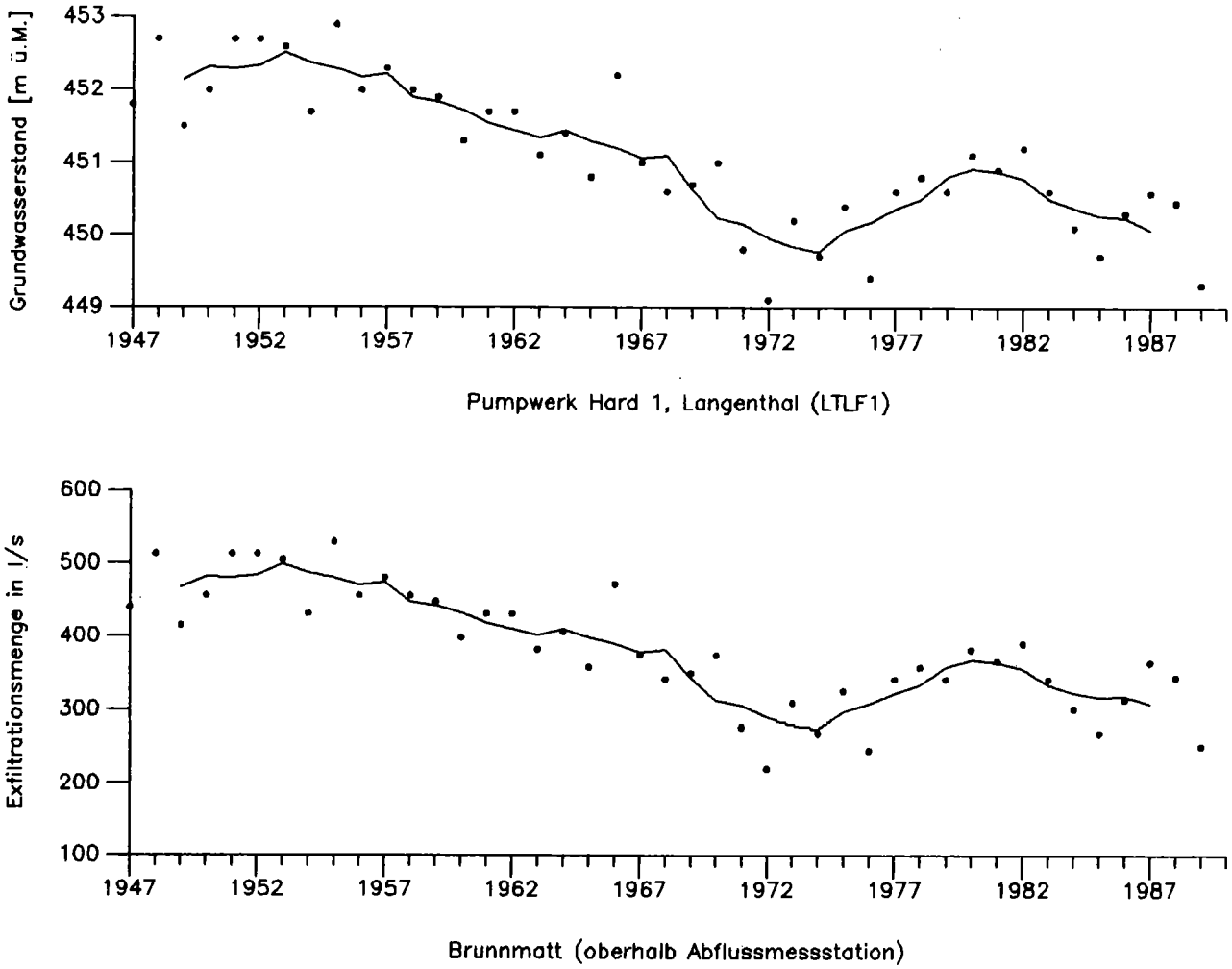
Infolge des Grundwasserspiegelrückgangs im Langenthalerbecken müssen auch die Exfiltrationsmengen im Gebiet Brunnmatt-Roggwil zurückgegangen sein, da sie in hohem Masse vom Grundwasserstand im Langenthalerbecken abhängig sind. Für die Brunnmatt liegen leider nur wenige gesicherte Messwerte aus früheren Jahren vor [5], die jedoch nicht erlauben, plausible Jahresmittelwerte zu bestimmen. Für den Gewässerabschnitt 3 der Langete fehlen Messdaten. Einzig die Veränderungen der Exfiltrationen im Gebiet Mange können aufgrund einer langjährigen Messreihe der Wasserversorgung beurteilt werden. Für die Beurteilung der Exfiltrationsänderungen in der Brunnmatt wurden die Messdaten 1984 bis 1986 der vier Messstationen an den Quellbächen (vgl. Abschnitt 3.6.4 und 4.2.2) herangezogen und mit den Grundwasserständen von LTLF1 korreliert. Die Monatsmittelwerte führen zu folgender Korrelationsgleichung bei einer linearen Korrelation und einem Korrelationskoeffizient von 0.9:

$$QX\ [l/s] = 81{,}3241 \cdot LTLF1\ [m\ ü.M.] - 36302{,}46$$

QX entspricht der Exfiltrationsmenge in der Brunnmatt oberhalb der Abflussmessstationen (vgl. Abschnitt 4.2.2).

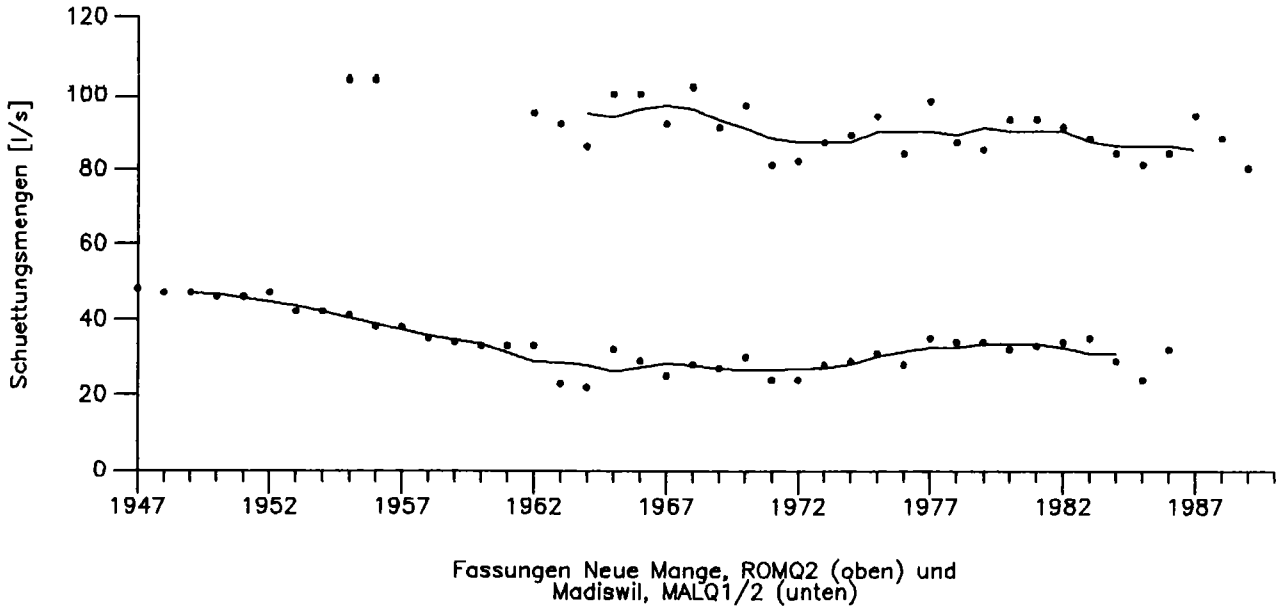
In Figur 7.2 sind für die Jahre 1947 bis 1989 die Jahresmittelwerte der gemessenen Grundwasserstände in LTLF1, für die Jahre 1984 bis 1989 diejenigen der Exfiltrationsmengen oberhalb der Abflussmessstationen in der Brunnmatt nach [43] und Tabelle 4.4 dargestellt. Zusätzlich wurden die mit Hilfe der Korrelationsgleichung berechneten Jahresmittelwerte der Exfiltrationsmengen 1947 bis 1983 und die gleitenden Mittel über 5 Jahre eingezeichnet. Sie zeigen: Zwischen den Jahren 1950 und 1975 ging die Exfiltrationsmenge um knapp ca. 50 % zurück. Ende der achtziger Jahre liegt die Exfiltrationsmenge knapp ca. 40 % unter derjenigen von 1950.

Fig. 7.2: Jahresmittel der Grundwasserstände der Messstelle LTLF1 im Hardwald, Jahresmittel der Exfiltrationsmengen in der Brunnmatt oberhalb der Abflussmessstationen sowie gleitende Mittel über 5 Jahre (Ganglinien), Periode 1947 bis 1989



Kontinuierliche Messreihen bestehen von den von den Wasserversorgungen genutzten Quellen in Madiswil (seit ca. 1920) und Roggwil (für 1955 und 1956 sowie seit 1962), welche direkt vom Grundwasservorkommen gespeist werden. In Figur 7.3 sind analog zu Figur 7.2, jedoch in einem vergrösserten Mengenmassstab, die Jahresmittel und die gleitenden Mittel dargestellt.

Fig. 7.3: Jahresmittel und gleitende Mittel über 5 Jahre (Ganglinien) der Schüttungsmengen der Trink- und Brauchwasserfassungen Neue Mange und Madiswil



Fassungen Neue Mange, ROMQ2 (oben) und Madiswil, MALQ1/2 (unten)

Aus den dargestellten gleitenden Mittel geht hervor: Beide Schüttungen haben generell abgenommen, diejenige der Fassung Madiswil zwischen ca. 1950 bis anfangs der siebziger Jahre knapp ca. 50 %, bis Ende der achtziger Jahre knapp ca. 40 %. Obwohl die Fassung Madiswil nicht im Langenthalerbecken liegt, erreicht der prozentuale Rückgang der Schüttung praktisch die gleichen Werte wie im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt. Dies dürfte jedoch eher zufällig sein.

Die Jahresmittelwerte und die gleitenden Mittel der vorhandenen Messdaten für die Fassung Neue Mange deuten darauf hin, dass hier der Rückgang der Schüttungsmengen etwas kleiner ausgefallen ist und seit 1950 lediglich ca. 30 % beträgt.

Der Rückgang der Grundwasserstände reduziert nicht nur die dargestellten sondern alle natürlichen Grundwasserwegflüsse. In Anbetracht der entsprechenden Bilanzierungskennziffern in Tabelle 6.2 dürfte die Summe der Grundwasserwegflüsse abzüglich der Grundwasserentnahmen vor 40 Jahren ca. 1400 l/s betragen haben, d.h. ca. 500 l/s mehr als während der Untersuchungsperiode.

7.1.3 Ursachen der Rückgänge

Die Veränderungen der Grundwasserstände und Exfiltrationsmengen ausserhalb der natürlichen Bandbreite witterungsbedingter Schwankungen sind auf die menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt zurückzuführen. Diese Eingriffe sind vielfältig und ihre Auswirkungen können zum Teil nur qualitativ beschrieben werden. Generell gilt: Veränderungen der Grundwasserstände und der Exfiltrationsmengen sind in erster Linie eine Folge von Veränderungen bei den Grundwasserzu- und -wegflüssen. Untergeordnet können auch Staueffekte durch in die Unterwasserspiegelzone reichende Gebäudeteile eine Rolle spielen.

Die augenfälligsten menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt des Langetentals sind folgende:

A) Grundwasserentnahmen

Die Wasserversorgung Langenthal deckte bis 1950 ihren Wasserverbrauch fast ausschliesslich mit sog. Quellwasser der Fassung Madiswil. Ab 1950 steigerte sie die Grundwasserentnahme im Hardwald bis anfangs der siebziger Jahre kontinuierlich von knapp ca. 10 l/s auf ca. 70 l/s im Jahresmittel. Ab 1973 stabilisierte sich die Entnahmemenge im Hardwald bei ca. 50 l/s.

Unter Berücksichtigung der übrigen Grundwasserkonzessionäre (vgl. Abschnitt 4.2.3) wurden während der Untersuchungsperiode gegenüber 1950 im Jahresmittel ca. 60 l/s mehr Grundwasser gepumpt, vor allem aus dem Langenthalerbecken.

B) Versiegelung

Seit 1950 hat sich die überbaute Fläche (Grundfläche der Bauten inkl. Vorplätze, Parkplätze, Vorgärten) in der Gemeinde Langenthal praktisch verdoppelt und beträgt heute ca. 300 ha. Der Anteil der Strassenfläche hat , verglichen mit der überbauten Fläche kaum zugenommen und beträgt ca. 5%. Aehnliche Verhältnisse dürften auch in den übrigen Gemeinden des Untersuchungsgebietes vorliegen.

Die Niederschlagsversickerung im überbauten Gebiet ist kleiner als im unüberbauten, weil ein Teil des Niederschlagswassers in die Kanalisation abgeleitet wird.

Gesamthaft gesehen ist der Verlust der direkten und indirekten Grundwasserneubildung seit 1950 relativ klein und dürfte für das ganze Untersuchungsgebiet im Jahresmittel in der Grössenordnung von ca. 20 bis 30 l/s liegen.

Nicht abschätzen lässt sich, inwieweit die landwirtschaftliche Nutzung die Böden verdichtet und die aktuelle Verdunstung vergrössert, was ebenfalls die Grundwasserneubildung reduziert.

C) Abnahme der Wässermatten, Änderungen der Wässerpraxis

BINGGELI und LEIBUNDGUT dokumentieren den Kulturlandschaftswandel in [19] ausführlich. Seit ca. 1950 nimmt der Anteil der Wässermatten kontinuierlich ab, von ursprünglich ca. 600 bis 700 ha auf ca. 50 ha. Aber auch die Wässerungspraxis hat sich verändert (vgl. Abschnitt 4.1.5), die Bewässerungszeiten sind kürzer geworden.

Umfassende Angaben über die früheren Wässerungsmengen liegen nicht vor. Ein oberer Grenzwert kann wie folgt abgeschätzt werden: Wenn während der max. ca. 80 Wässerungstage jeweils alles Langete-Wasser, durchschnittlich ca. 2'000 l/s, auf die Matten geleitet und versickert worden wäre, ergäbe das eine mittlere jährliche Wässerungsmenge von ca.450 l/s. Obschon die 600 bis 700 ha Wässermatten mit den nachgewiesenen Wässerungsraten von knapp 1 bis 2 m^3/m^2d bei weitem genügen würden, diese Wassermenge zu versickern, dürften zu Beginn der fünfziger Jahre die effektiven Wässerungsmengen im Jahresdurchschnitt kaum mehr als ca. 400 l/s betragen haben, ca. 350 l/s mehr als während der Untersuchungsperiode.

Die in Punkt A, B und C beschriebenen Aenderungen und geschätzten Mengen ergeben einen Rückgang der Grundwasserwegflüsse seit ca. 1950 um ca. 450 l/s und bestätigen, die im vorangehenden Abschnitt ermittelten Mengen.

D) Langete-Hochwasserentlastung in den Hardwald

Angaben über die in den Hardwald geleiteten Wasserfrachten bestehen seit 1976.

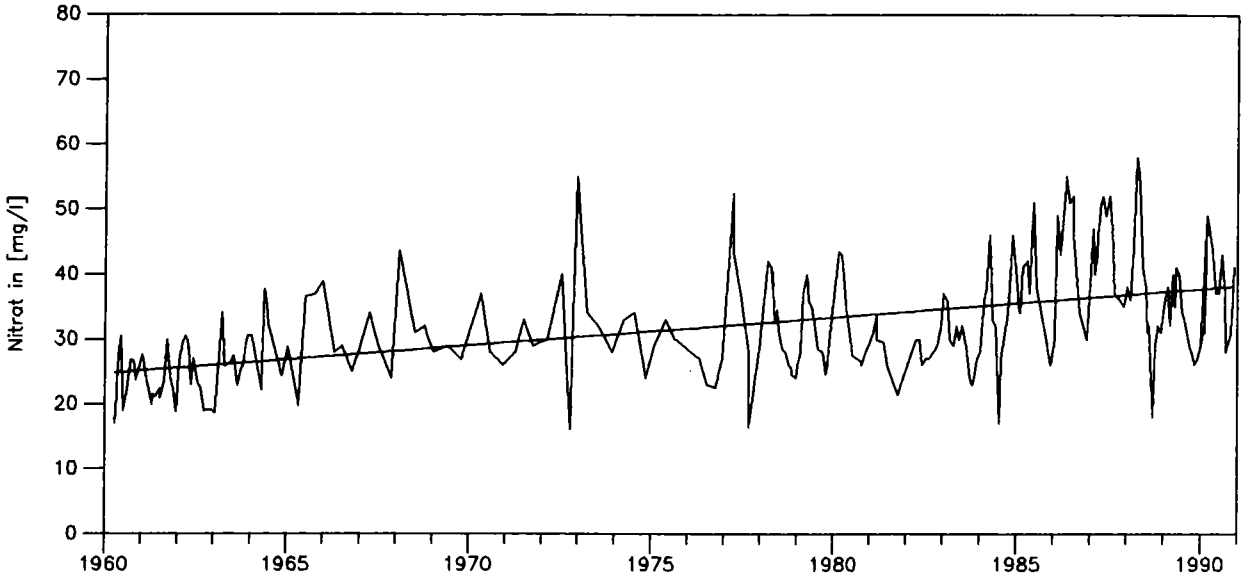
Die Inbetriebnahme des neuen Langete-Entlastungsstollens im Frühjahr 1992 wird den Grundwasserzufluss über das Versickerungsgebiet im Hardwald im Jahresmittel um ca. 25 l/s reduzieren; das sind im Mittel immerhin ca. 30 % der im oberen und mittleren Teil des Langenthalerbeckens gewonnenen Grundwassermengen (vgl. Tab. 4.6). Die Auswirkungen auf die Ex- vor allem aber auf die Infiltration der Langete infolge der veränderten Wasserführung (vgl. Abschnitt 1.1) bleiben offen.

Wie umfangreiche Untersuchungen gezeigt haben, muss für grosse Strecken angenommen werden, dass sich die Sohle mit der Zeit zunehmend verdichtet, weniger durchlässig wird [50]. Mit der seit 1987 durchgeführten Mengen- und Güteüberwachung [43] sollen Trendentwicklungen rechtzeitig erkannt werden.

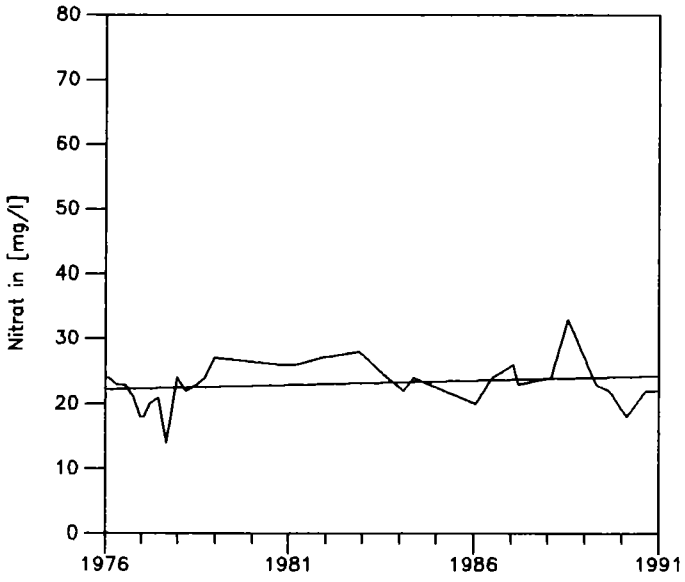
7.2 Qualitative Veränderungen

Die augenscheinlichsten Veränderungen der Grundwasserqualität liegen beim Nitratgehalt und den leichtflüchtigen Chlor-Kohlenwasserstoffen. Während sich ein steigender Nitratgehalt im Grundwasser schon seit 30 Jahren manifestiert, wurden CKW-Verschmutzungen im Untersuchungsgebiet erst anfangs der achtziger Jahre festgestellt. Die Entwicklung der Nitratgehalte wird laufend in [43], diejenige der CKW in [12, 13, 14] und in den folgenden periodischen Zwischenberichten, dokumentiert. Hier werden einige Resultate aus [43] über die langjährige Zunahme der Nitratgehalte wiedergegeben und kurz beschrieben.

Fig. 7.4: Langfristige Entwicklung der Nitratgehalte mit Regressionsgeraden



Fassungen Madiswil (MALQ1/2)



Pumpwerk Hard I, Langenthal (LTLF1)

7.2.1 Zunahme der Nitratgehalte

Figur 7.4 zeigt die Entwicklung der Nitratgehalte in den Fassungen Madiswil (MALQ1/2) seit 1960 und im Pumpwerk Hard I (LTLF1) seit 1976 anhand von 220 bzw.29 Analysenwerten. Ein Anstieg ist deutlich zu erkennen.

Im Grundwasser der Fassungen Madiswil wurde im Frühjahr 1968 erstmals ein Nitratgehalt über dem Toleranzwert von 40 mg/l festgestellt. Von 1968 bis 1983 lagen bei 11 von 96 Proben die Nitratgehalte über dem Toleranzwert. Von 1984 bis Mitte 1989 wurden 60 Proben analysiert und bei 29 der Wert von 40 mg/l überschritten.

Von den 40 der insgesamt 220 Proben, die den Toleranzwert überschritten haben, entfallen 32 in die erste Jahreshälfte. Der Toleranzwert wurde im März und April am häufigsten, je 9 mal, überschritten. In der zweiten Jahreshälfte lagen 8 Werte über dem Toleranzwert, 6 davon im Juli und August.

In Tabelle 7.1 wird der Anstieg der Nitratwerte für die vier Jahreszeiten aufgrund der Regressionsanalysen zusammengestellt. In den Frühlingsmonaten März, April, Mai war er viermal grösser als in den Herbstmonaten September, Oktober, November. Die grossen jahreszeitlichen Unterschiede der hohen Nitratwerte zeigen eine gewisse Abhängigkeit von Vegetation und Bewirtschaftung.

Tabelle 7.1: Fassungen Madiswil (MALQ1/2): Mittlerer Anstieg der Nitratgehalte zwischen 1960 und 1989

Jahreszeit	Anzahl bestimmte Nitratwerte	Anstieg der Nitratgehalte in 30 Jahren [mg/l]
Winter (Dezember, Januar, Februar)	49	11.6
Frühling (März, April, Mai)	65	20.6
Sommer (Juni, Juli, August)	58	14.7
Herbst (September, Oktober, November)	48	5.0
Jahr	220	14.2

Im Pumpwerk Hard I, Langenthal, wurde der Toleranzwert von 40 mg/l Nitrat pro Liter in keiner der 29 Grundwasserproben überschritten. Die Nitratgehalte der 13 Proben, die zwischen 1976 und 1978 analysiert wurden, liegen unter dem Qualitätsziel von 25 mg/l. Erstmals wurde das Qualitätsziel im Januar 1979 überschritten. Zwischen 1979 und 1989 lag der Nitratgehalt in 8 von 16 Proben über 25 mg/l. Die Resultate der Regressionsanalyse für die Fassung Hard I zeigen von 1976 bis 1989 einen Anstieg der Nitratwerte um ca. 5 mg/l, umgerechnet auf 30 Jahre um ca. 10.6 mg/l.

7.2.2 Ursachen der Nitratzunahme

Der klar ansteigende Nitratgehalt dürfte auf verschiedenen Ursachen beruhen, die aber alle eindeutig auf die veränderte landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen sind. Dabei stehen im Vordergrund:

- Vermehrter Ackerbau (u.a. Umbrechen von Wässermatten) mit Nitratauswaschung vor allem bei Winterbrache

- Grossflächiger Maisanbau (später Vegetationsbeginn, intensive Düngung)

- Zunahme von Intensivkulturen

- Zunahme des Bestandes an Rindern, Schweinen, Hühnern verbunden mit der Zunahme von Hofdünger; Reduktion der geeigneten Landwirtschaftsflächen für den Austrag

- Intensiver Einsatz von stickstoffhaltigen Kunstdüngern.

Die Zunahme der Nitratbelastung kann je nach Schadstoffquelle örtlich und zeitlich variieren. Eine Verminderung der Nitratgehalte im Grundwasser des Untersuchungsgebietes lässt sich nur erreichen, wenn über dem Grundwasserleiter (direkte Grundwasserneubildung) und auch in den seitlichen Einzugsgebieten (indirekte Grundwasserneubildung) Die Nitratauswaschung wesentlich reduziert wird.

8. NUTZUNGS- UND SCHUTZKONZEPT

8.1 Bewirtschaftungsszenarien

8.1.1 Allgemeine Vorgaben

Mit dem instationär geeichten Grundwassermodell Langetental (vgl. Kapitel 5) können Eingriffe in den Grundwasserhaushalt strömungs- und mengenmässig beurteilt werden. Mit dem Transportmodell, welches z.Z. im Rahmen einer Dissertation des geologischen Institutes der Universität Bern aufgebaut wird, lassen sich später auch die Ursachen für die räumliche Verteilung von Güteparametern beurteilen und hier besonders wichtig, die Entwicklungstendenzen vorhandener oder möglicher Verschmutzungen abschätzen (vgl. Abschnitt 8.3).

Im Langetental könnten sich insbesondere folgende geplante oder bereits verwirklichte Eingriffe mengen- oder gütemässig auf das Grundwasser auswirken (vgl. Abschnitt 7.1.3):

- Langete-Hochwasserentlastung: Das Ausbleiben von periodischen Hochwasserabflüssen (vgl. Abschnitt 1.1) wird wahrscheinlich zu einer Kolmation (Abdichtung) des Langete-Gerinnes führen [50]; dadurch wird auch die Infiltrationsleistung d.h. ein Anteil der Grundwasserneubildung zurückgehen; das Wegbleiben von Hochwasserfrachten, die im Hardwald versickern, wirkt sich in bescheidenerem Ausmass gleich aus (vgl. Figuren 6.10a, 6.11, Tabelle 6.2).

- Bau und Betrieb von weiteren Grundwasserfassungen, damit künftig auch während Trockenwetterperioden die Trink- und Brauchwasserversorgung problemlos sichergestellt werden kann.

- Veränderungen in der Wiesenwässerung, z.B. weiteres Auflassen von Wässermatten, weniger intensives Wässern.

- Grundwasseranreicherung durch intensive Wiesenwässerungen in geeigneten Wässerungsgebieten; in einem späteren Zeitpunkt unter Umständen künstliche Grundwasseranreicherungen im Raum Hardwald mit Aarewasser.

Um die zu erwartenden mengenmässigen Auswirkungen einiger dieser Faktoren auf die Grundwasserverhältnisse aufzuzeigen und um die Wässerungsgebiete auf ihren Nutzen für die Trinkwasserversorgung zu untersuchen, sind mit dem Grundwassermodell 8 Prognoserechnungen vorgenommen worden:

1. Natürliche Grundwasserneubildung, ohne die effektiven Wiesenwässerungen, ohne Hochwasserversickerungen im Hardwald (Modellsimulation 1)

2. Intensive Wiesenwässerungen

- zwischen Madiswil und Lotzwil (Modellsimulation 2)

- zwischen Lotzwil und Langenthal (Modellsimulation 3)

- zwischen Langenthal und Kaltenherberg (Modellsimulation 4)

- zwischen Kaltenherberg und Roggwil (Modellsimualtion 5)

3. Verminderung der Langete-Infiltration um ca. 50 % (Modellsimulation 6)

4. Steigerung der Grundwasserentnahmen im Hardwald um ca. 100 % auf 150 l/s (Modellsimulation 7)

5. Künstliche Grundwasseranreicherung im Hardwald mit 100 l/s (Modellsimulation 8)

Als Zeitraum für die Modellsimulationen wurde das Jahr 1984 gewählt, dessen Niederschlagssumme ungefähr dem langjährigen Mittel entspricht (vgl. Abschnitt 3.2.1). Die Resultate sind jedoch auch weitgehend auf andere Jahre übertragbar, da die berechneten Grundwasserstands- und -flussänderungen nur unwesentlich von der Niederschlagssumme eines Jahres bzw. von der Höhenlage des aktuellen Grundwasserspiegels abhängig sind. Einzig für lange extreme Wetterperioden, wobei in erster Linie niederschlagsarme Zeiten von mehreren Jahren bedeutungsvoll sind, haben die folgenden Resultate lediglich generelle Gültigkeit.

Alle acht Modellsimulationen beginnen mit der Grundwasserspiegelfläche vom 1. Januar 1984. Sie basieren auf den natürlichen Grundwasserzuflüssen für 1984 (vgl. Figur 6.10a). Die 1984 aus verschiedenen Wiesenwässerungen und den Hochwasserversickerungen im Hardwald stammenden "künstlichen" Zuflüsse sind bei allen Simulationen nicht berücksichtigt worden. Dadurch können die Simulationsergebnisse direkt miteinander verglichen werden, wofür die berechneten

- Grundwassermächtigkeiten im Pumpwerk Hard I (LTLF1, WEA Nr. 625.320/1) im Hardwald
- Exfiltrationsmengen in die Langete
- Exfiltrationsmengen in der Brunnmatt und der Mange

herangezogen werden. Für die Modellsimulationen 4 und 8 wurden die berechneten Isohypsen des Grundwasserspiegels für den Raum Hardwald in [26] dargestellt.

8.1.2 Natürliche Grundwasserneubildung ohne die effektiven Wiesenwässerungen, ohne Hochwasserversickerung im Hardwald

Die Grundwasserneubildungen durch die im Jahr 1984 betriebenen Wiesenwässerungen sowie durch die im Hardwald versickerten Langetehochwasser betragen zusammen im Jahresmittel ca. 70 l/s oder ca. 7 % der gesamten Zuflüsse. Die Modellsimulation 1 zeigt, wie sich das Fehlen dieser Grundwasserneubildung auswirken würde:

- Im Gewässerabschnitt 3 der Langete verkleinert sich die Exfiltrationsmenge im Jahresmittel um ca. 10 l/s.

- Im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt reduziert sich die Exfiltrationsmenge im Jahresmittel um ca. 60 l/s.

- In der Mange werden dagegen die Exfiltrationsmengen nicht verändert.

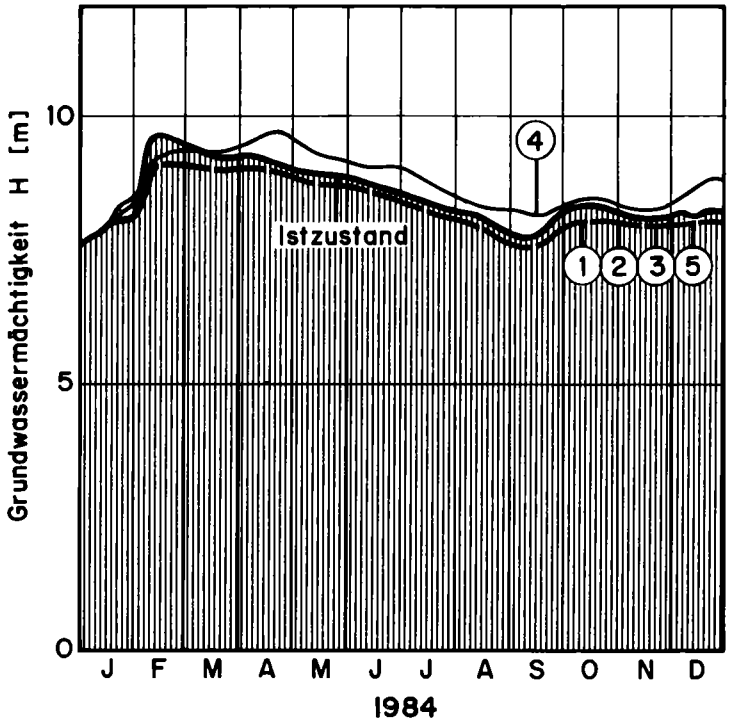
- Im Hardwald reduziert sich die Grundwassermächtigkeit im Jahresmittel um ca. 0.2 m (vgl. Figur 8.1), was bei einer mittleren Grundwassermächtigkeit von ca. 8.5 m einer Verminderung um 2.4 % entspricht. Im Januar fallen die Ganglinien des Istzustandes und der Modellsimulation 1 zusammen, da keine Wässerungen und keine Hochwasserversickerung stattgefunden haben. Im Februar treten, bedingt durch das Hochwasserereignis vom 6. bis 9., die grössten Abweichungen von maximal 0.5 m auf. Ab März 1984 bleiben sie praktisch über das ganze Jahr konstant. Einzig massive Hochwasserversickerungen können unmittelbar zu merkbaren Grundwasserspiegelanstiegen führen. Die aktuellen Wiesenwässerungen vermögen die Grundwasserspiegel im Hardwald kaum anzuheben.

Fig. 8.1: Einfluss von Wiesenwässerungen und der Hochwasserversickerung auf die Grundwassermächtigkeit im Hardwald. Vergleich des Istzustandes (schraffiert) mit den Ergebnissen der Modellsimulationen

1 Natürliche Grundwasserneubildung (ohne Wiesenwässerung, ohne Hochwasserversickerung im Hardwald)

Intensive Wiesenwässerung im Wässerungsgebiet

2 Madiswil/Lotzwil
3 Lotzwil/Langenthal
4 Langenthal/Kaltenherberg
5 Kaltenherberg/Roggwil



8.1.3 Reaktivierung der Wiesenwässerung

Im Auftrag des Planungsverbandes der Region Oberaargau, der Arbeitsgemeinschaft Wässermatten und des kantonalen Raumplanungsamtes [20, 21, 23] wurden die bestehenden Bewässerungsanlagen und Einrichtungen zwischen Rohrbach und Roggwil detailliert aufgenommen und gestützt darauf Vorschläge für die Wiederherstellung von verschiedenen Wässerungsgebieten ausgearbeitet, in denen künftig wiederum regelmässig gewässert werden sollte. Die Gebiete sind nach Gesichtspunkten des Erhaltens einer alten Kulturform, des Landschafts- und Naturschutzes sowie der Landwirtschaft nicht nach denen der Wasserwirtschaft ausgeschieden worden.

Die Wässerungen oberhalb Kleindietwil, ausserhalb des Untersuchungsgebietes, können den Grundwasserzufluss beim Profil Kleindietwil höchstens unbedeutend steigern, da die Langete dort quer über das Tal fliesst und ihr Wasserspiegel grösstenteils an den Grundwasserspiegel angeschlossen ist (vgl. Beilage II).

Wässerungen zwischen Kleindietwil und Madiswil beeinflussen die Grundwasserverhältnisse lediglich örtlich. Die Wässermatten können nur ca. 15 ha bedecken und liegen westlich der Langete, deren Wasserspiegel in diesem Bereich an den Grundwasserspiegel anschliesst. Deshalb sind für dieses Gebiet keine Modellsimulationen durchgeführt worden.

Im folgenden werden für die vier massgebenden Wässerungsgebiete die speziellen Annahmen für die Modellsimulationen 2 bis 5 zusammengestellt und diskutiert.

Wässerungszeiten: Die angenommenen Wässerungszeiten sind in Figur 8.2 abgebildet. Mit insgesamt 104 Wässerungstagen pro Jahr ist eine lange Bewässerungsdauer gewählt worden, damit die grösstmöglichen Auswirkungen auf das Grundwasservorkommen gezeigt werden können. Mit den vorgegebenen Wässerungsterminen könnten die Wiesen weiterhin eingeschränkt als Grünland genutzt werden. Selbstverständlich müssten die Wässerungen in der Praxis den jeweiligen Witterungsverhältnissen, dem Vegetationszustand und auch der Wasserführung der Langete angepasst werden.

Wässerungsfläche: Die in den Modellsimulationen berücksichtigten Wässerungsgebiete haben eine Gesamtfläche von 145 ha (vgl. Tabelle 8.1). Sie ist damit etwa dreimal grösser als die heute viel weniger intensiv bewässerte Fläche (vgl. Abschnitt 4.1.5). Innerhalb eines Wässerungsgebietes soll gleichzeitig höchstens 1/3 der Fläche gewässert werden.

Grundwasserspiegel-Anstieg: Der Anstieg des Grundwasserspiegels schränkt die Wässerungsmenge ein, wenn er rasch die Terrainoberfläche erreicht. Für die Wässerungsgebiete Madiswil/Lotzwil, Lotzwil/Langenthal und Langenthal/Kaltenherberg ist dies der Fall. Die Wässerungsmengen für die Modellsimulationen 2 bis 4 sind daher so bestimmt worden, dass der Grundwasserspiegel bei Wässerungsbeginn bis ca. 0.5 m unter die Geländeoberfläche ansteigt und in dieser Lage bis zum Wässerungsende verbleibt.

Im Wässerungsgebiet Kaltenherberg/Roggwil würde ein Anstieg des Grundwasserspiegels bis zur Terrainoberfläche wegen den grossen Flurabständen und den guten Durchlässigkeitsverhältnissen im Grundwasserleiter unverhältnismässig grosse Wässerungsmengen erfordern. Hier schränkt die Wasserführung der Langete die Wässerungsmengen ein.

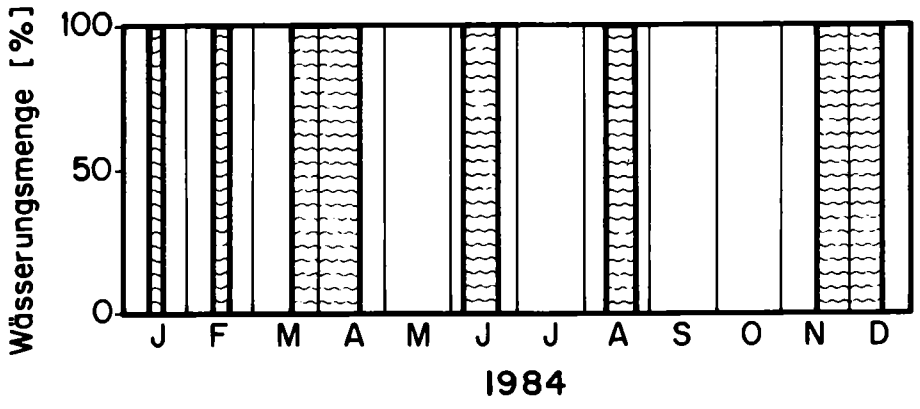
Wasserführung der Langete: Das Wasser für die Wässerungen wird der Langete bzw. ihrer Zuflüsse entnommen. Eine minimale Wasserführung in der Langete muss auch während den Wässerungsperioden im ganzen Untersuchungsgebiet gewährleistet sein (einige Gründe: Schutz von Flora und Fauna, Erhalten der Infiltrationsleistung, Vorflut der ARA, Wasserrecht Kleinkraftwerk Roggwil). Die Langete führt auch bei mittleren Niederschlagsverhältnissen, wie sie z.B. im Jahr 1984 herrschten, während Trockenperioden bei der Abfluss-Messstation Lotzwil lediglich ca. 1000 l/s Wasser (vgl. Figur 8.3). Die Infiltrationsmenge der Langete zwischen Lotzwil und Roggwil übersteigt um ca. 100 l/s die seitlichen Zuflüsse. Damit reduziert sich die für die Wässerungen verfügbare Wassermenge zusätzlich. In ausgeprägten Trockenjahren kann sie noch wesentlich weiter zurückgehen; vgl. [18].

Wässerungsmengen: Unter Beachtung der maximal möglichen Grundwasserspiegel-Lagen können für die Wässerungsgebiete Madiswil/Lotzwil, Lotzwil/Langenthal, Langenthal/Kaltenherberg, Wässerungsmengen zwischen 200 und 350 l/s als oberen Grenzwert angenommen werden.

Für das Gebiet Kaltenherberg/Roggwil wird im Hinblick auf die Wasserführung der Langete für die Modellsimulation eine Wässerungsmenge von 500 l/s eingesetzt.

Die totale Wässerungsmenge beträgt 1330 l/s. Aus Figur 8.3 mit der Abflussmenge der Langete in Lotzwil (LANQ4) und der Summe der Wässerungsmengen der vier Wässerungsgebiete für die gewählten Wässerungszeiten geht hervor: Die Wasserführung der Langete reicht nicht immer aus, um gleichzeitig alle vier Wässerungsgebiete intensiv zu wässern. Für jedes Wässerungsgebiet wurde die Modellsimulation getrennt durchgeführt. Die Auswirkungen der totalen Wässerungsmenge auf die Grundwasserverhältnisse können durch Superpositionen der einzelnen Resultate abgeschätzt werden.

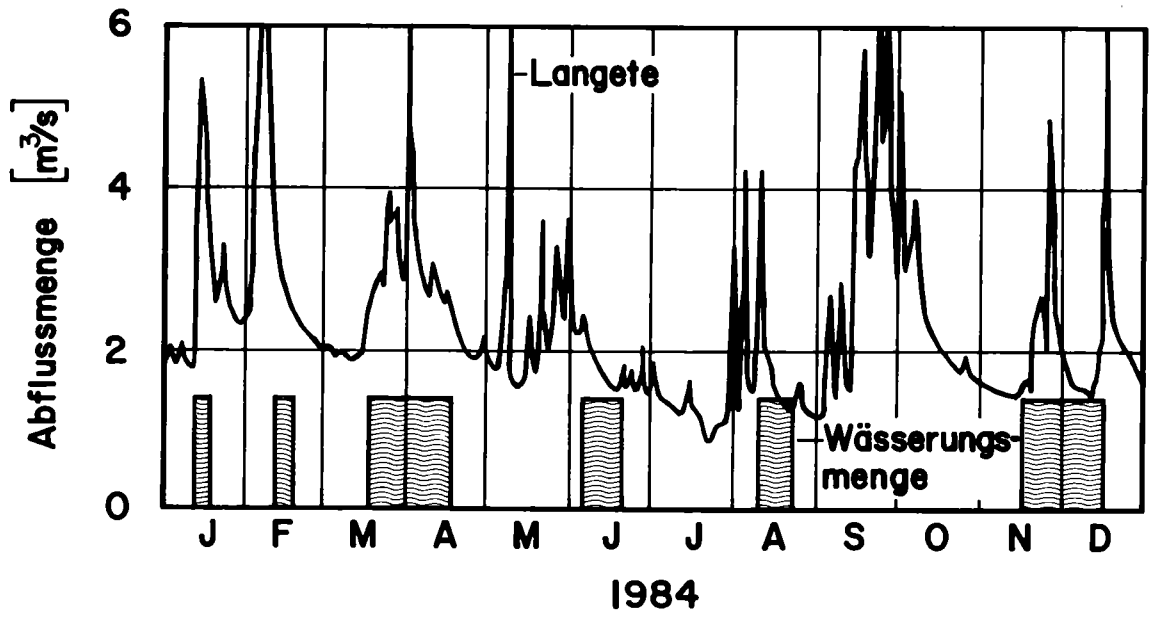
Fig. 8.2: Angenommene Wässerungszeiten für die Modellsimulationen 2 bis 5



Tab. 8.1: Potentielle Wässerungsgebiete und -flächen nach [20]. Wässerungsmengen und Versickerungsleistungen gemäss Modellsimulation 2 bis 5

Wässerungsgebiet	Modell-simulation	Fläche [ha]	Wässerungs-menge [l/s]	mittlere Versickerungs-leistung [m^3/m^2d]
Madiswil/Lotzwil	2	46	200	0.1
Lotzwil/Langenthal	3	18	280	0.4
Langenthal/Kaltenherberg	4	53	350	0.2
Kaltenherberg/Roggwil	5	28	500	0.5
TOTAL		145	1330	-

Fig. 8.3: Abflussmenge der Langete bei der eidgenössischen Messstation LANQ4 (626.226/Q4) in Lotzwil und Summe der Wässerungsmengen der vier potentiellen Wässerungsgebiete



8.1.4 Auswirkungen der intensiven Wiesenwässerung

Wässerungsgebiete Madiswil/Lotzwil (Modellsimulation 2)

Das Wässerungsgebiet zwischen Madiswil und Lotzwil liegt grösstenteils östlich der Langete [20]. Westlich der Langete werden heute noch vereinzelte Wässermatten beim Mattenhof, Lotzwil, betrieben (vgl. Beilage I). Die simulierten Wässerungsmengen betragen 200 l/s, was einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von 55 l/s entspricht. Davon exfiltrieren direkt 50 l/s in die Langete im Gewässerabschnitt 1 und lediglich 5 l/s strömen unterirdisch weiter bis ins Exfiltrationsgebiet Brunnmatt. Diese 5 l/s können im Hardwald keine merkbaren Grundwasserspiegeländerungen bewirken, sodass die Grundwassermächtigkeit mit derjenigen aus der Modellsimulation 1 zusammenfällt (vgl. Figur 8.1).

Die Auswirkungen dieser Wässerungen auf das Grundwasservorkommen im Bereich der Grundwasserfassungen der WV Lotzwil werden im Abschnitt 8.2.3 kurz diskutiert.

Wässerungsgebiet Lotzwil/Langenthal (Modellsimulation 3)

Das Wässerungsgebiet zwischen Lotzwil und Langenthal liegt vorwiegend östlich der Langete [20] im Bereich des heutigen Wässerungsgebietes Allme, Lotzwil (vgl. Beilage I).

Die simulierten Wässerungsmengen betragen 280 l/s, was einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von 80 l/s entspricht. Ca. 2/3 dieses Wassers exfiltrieren unmittelbar in die Langete bzw. in das Kleinbächli und bleiben somit für die Grundwasserneubildung nicht wirksam. Der Rest exfiltriert in der Brunnmatt. Die Grundwasserverhältnisse im Hardwald werden auch durch diese Wässerungen kaum spürbar verbessert. Die Erhöhung des Grundwasserspiegels bzw. der Grundwassermächtigkeit beträgt im Mittel ca. 0.05 m, d.h. ca. 0.6 %.

Wässerungsgebiet Langenthal/Kaltenherberg (Modellsimulation 4)

Das Wässerungsgebiet liegt unterhalb Langenthal und erstreckt sich bis ca. 500 m oberhalb der Kaltenherberg, sowohl westlich wie östlich der Langete [20]. Innerhalb dieser Fläche befinden sich die auch heute noch sporadisch gewässerten Wässermatten der Wüestimatte/Grossmatte, Langenthal, (vgl. Beilage I). Die simulierte Wässerungsmenge beträgt 350 l/s, was einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von ca. 100 l/s entspricht.

Diese Wässerungen bewirken eine mittlere Zunahme der Grundwasseraustritte im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt von ca. 95 l/s und eine Zunahme der Langete-Exfiltration im Gewässerabschnitt 3 von ca. 5 l/s. Die Grundwasseraustritte in der Mange werden dagegen mengenmässig nur unwesentlich beeinflusst.

Die Grundwassermächtigkeit im Hardwald ist gegenüber derjenigen aus Modellsimulation 1 im Mittel ca. 0.5 m, d.h. um ca. 6 % grösser (vgl. Figur 8.1). Die Einflüsse der einzelnen Wässerungen sind, wenn auch geglättet, noch deutlich erkennbar.

Die 1989 [15] und 1990 im Auftrag des Gemeindeverbandes Wasserversorgung an der unteren Langeten (WUL) durchgeführten Wässerungsversuche haben die Modellrechnungen gut bestätigt.

Wässerungsgebiet Kaltenherberg/Roggwil (Modellsimulation 5)

Das Wässerungsgebiet liegt zwischen der Kaltenherberg und Roggwil, am westlichen Rand der Roggwiler-Terrasse und wird seitlich generell eingegrenzt durch die Langete und den Brunnbach [20]. Es entspricht ziemlich genau den zum Teil auch heute noch bewässerten Matten im Gruenholz, Roggwil (Beilage I).

Die simulierte Wässerungsmenge beträgt 500 l/s. Dies entspricht einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von 140 l/s. Wie anhand von Messungen bereits in den Figuren 4.10 und 4.11 belegt wurde, exfiltriert das Wässerungswasser grösstenteils unmittelbar im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt und in die Langete, Gewässerabschnitt 3; knapp 5 % exfiltrieren im Exfiltrationsgebiet Mange.

Die Grundwassermächtigkeit im Hardwald wird mit diesen Wässerungen nicht spürbar erhöht. In Figur 8.1 fallen die berechneten Grundwassermächtigkeiten deshalb mit denjenigen aus den Modellsimulationen 1 bis 3 zusammen.

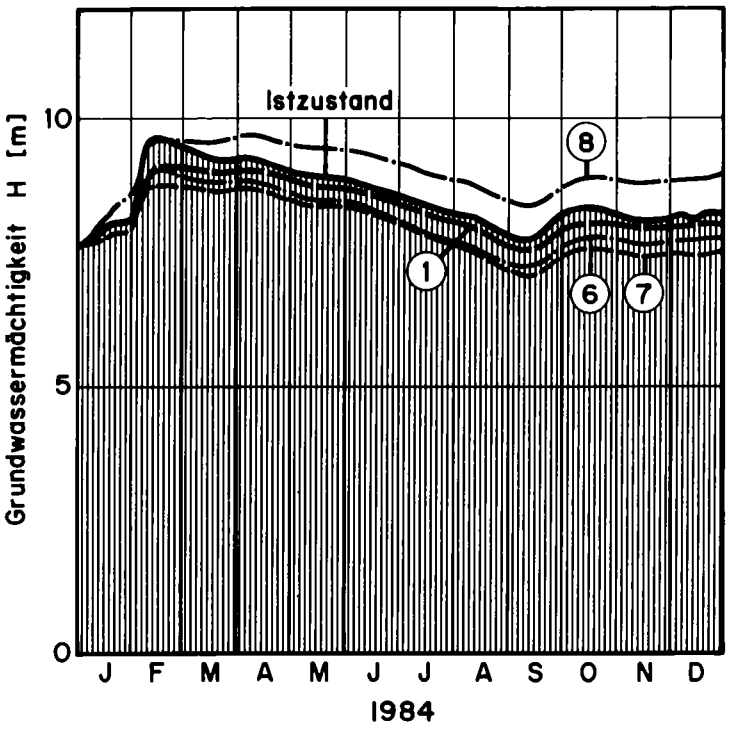
8.1.5 Verminderung der Langete-Infiltration

Inwieweit die Hochwasserentlastung der Langete durch den Entlastungsstollen in die Aare die Infiltration vermindert, kann heute nicht abschliessend beurteilt werden [50]. Die menge- und gütemässige Entwicklung wird daher mit einem Ueberwachungsprogramm [43] verfolgt. Um die quantitativen Auswirkungen eines allfälligen Rückgangs der Infiltrationsmenge der Langete auf die Grundwasserverhältnisse abschätzen zu können, wurde für die Modellsimulation 6 die heutige Infiltrationsleistung um ca. 50 % auf 120 l/s vermindert. Dies reduziert die Exfiltrationsmengen in der Brunnmatt um ca. 65 l/s, in die Langete, Gewässerabschnitt 3, um ca. 20 l/s und in der Mange um ca. 5 l/s.

Die Grundwassermächtigkeit im Hardwald aus Modellsimulation 6 liegt ca. 0.4 m tiefer als diejenige der Modellsimulation 1. Sie wird damit durchschnittlich um ca. 5 % verkleinert. Bei einem vollständigen Ausbleiben der Langete-Infiltration würde der Spiegel etwa um 0.8 bis 1.0 m absinken (vgl. Figur 8.4).

Fig. 8.4: Einfluss auf die Grundwassermächtigkeit im Hardwald, Vergleich des Istzustandes (schraffiert) mit den Modellsimulationen 1, 6 bis 8

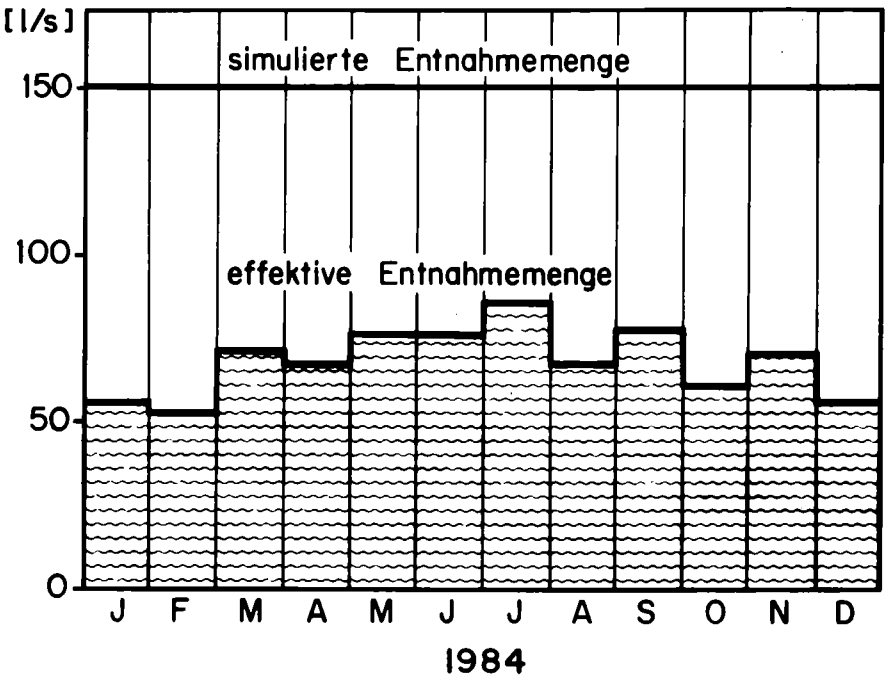
1 Natürliche Grundwasserneubildung
6 reduzierte Langete-Infiltration
7 gesteigerte Grundwasserentnahme im Hardwald
8 künstliche Anreicherung im Hardwald



8.1.6 Steigerung der Grundwasserentnahme im Raum Hardwald

Aus den Grundwasserfassungen des WUL in Bützberg (PW Winkelacker und PW Tannwäldli), in Langenthal (PW Hard I und PW Hard II), in Aarwangen (PW Hard III und PW Unterhard II) und in Wynau (PW Mumenthal) wurden 1984 ca. 70 l/s, in den Jahren 1984 bis 1986 im Mittel ca. 73 l/s Grundwasser gefördert. Die Monatsmittelwerte, in Figur 8.5 für das Jahr 1984 dargestellt, weichen nur relativ gering vom Jahresmittelwert ab. Für die Fassungen sind 297 l/s konzessioniert, somit viermal mehr als heute effektiv entnommen wird.

Fig. 8.5: Monatsmittel der Grundwasserentnahmen 1984 aus den Fassungsanlagen des WUL in Bützberg, Langenthal, Aarwangen und Wynau sowie angenommene, auf 150 l/s gesteigerte Grundwasserentnahme für die Modellsimulation 7



Zukünftige Entnahmemengen in der Grössenordnung der konzessionierten sind in diesem Fassungsgebiet ohne massive künstliche Grundwasseranreicherungen unrealistisch. Für die Modellsimulation 7 wurde die heutige Entnahmemenge auf 150 l/s praktisch verdoppelt und gleichzeitig auf fünf Fassungsanlagen im Hardwald verteilt. Vier dieser Fassungsanlagen sind identisch mit den bereits vorhandenen, zusätzlich wurde eine fünfte, fiktive im Unterhardwald eingeführt.

Die zusätzliche Grundwasserentnahme von ca. 75 l/s hat zur Folge, dass die Grundwasserexfiltrationen in der Brunnmatt um ca. 65 l/s und diejenigen in die Langete, Gewässerabschnitt 3, um ca. 10 l/s zurückgehen. Die Exfiltrationsmengen im Gebiet Mange werden dagegen nicht beeinflusst.

Die Grundwassermächtigkeit wird gegenüber derjenigen aus Modellsimulation 1 im Mittel um ca. 0.6 m bzw. 7 % kleiner (vgl. Figur 8.4). Dies verdeutlicht, dass das nutzbare Grundwasserdargebot im Raum Hardwald relativ gross ist und heute offensichtlich nicht ausgenutzt wird. Die Grundwasserentnahmen können relativ problemlos um mehr als 75 l/s gesteigert werden. Allerdings würde das zusätzlich entnommene Grundwasser vorwiegend im Exfiltrationsgebiet Brunnmatt fehlen.

8.1.7 Künstliche Grundwasseranreicherung im Hardwald

Mit der Modellsimulation 8 ist berechnet worden, wie sich eine künstliche Grundwasseranreicherung im Hardwald auf die Grundwasserverhältnisse auswirken würde. Ueber zwei Vertikalfilterbrunnen, ca. 500 m westlich der Fassungsanlagen Hard I, II und III, wurden je 50 l/s permanent versickert.

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung würde dementsprechend um 100 l/s erhöht. Die Exfiltrationsmenge in der Brunnmatt vergrössert sich dadurch um durchschnittlich ca. 80 l/s und diejenige in die Langete um ca. 20 l/s.

Die Grundwassermächtigkeit im Hardwald wird gegenüber derjenigen aus Modellsimulation 1 um etwa 0.8 m bzw. 9 % grösser (vgl. Figur 8.4).

8.1.8 Zusammenstellung und Wertung der Szenarien

In Tabelle 8.2 sind für die acht Szenarien die wichtigsten Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse zusammengestellt. Die Tabelle zeigt einerseits für die Modellsimulation 1 den mittleren Grundwasserzufluss, die mittlere Grundwassermächtigkeit im Hardwald (im Pumpwerk Hard I, LTLF1, 625.230/1), die mittleren Exfiltrationsmengen in die Langete, in der Brunnmatt und der Mange und anderseits die Veränderungen dieser Grössen bei den Modellsimulationen 2 bis 8 gegenüber Modellsimulation 1.

Damit die Auswirkungen besser beurteilt werden können, ist es wichtig, vorgängig die besonderen Eigenheiten des Grundwasservorkommens im Langetental nochmals kurz zusammenzufassen:

- Das Grundwasservorkommen wird heute bei durchschnittlichen Witterungsverhältnissen mit ca. 1000 l/s Wasser gespeist, wovon der grösste Anteil aus der direkten und indirekten Grundwasserneubildung stammt. Rund 95 % des Wassers tritt, nachdem es einige Zeit im Grundwasserleiter strömte, wiederum aus, grösstenteils in den Exfiltrationsgebieten Brunnmatt und Mange sowie in die Langete. Nur 5 % strömen unterirdisch aus dem Untersuchungsgebiet.

- Der Grundwasserstrom ist im Querprofil bei der Kaltenherberg, unmittelbar oberhalb der Grundwasseraustritte Brunnmatt, am ergiebigsten. In diesem Profil strömen im Mittel ca. 600 l/s Grundwasser. Im Grundwasserleiter oberhalb Langenthal sind die Strömungsmengen dagegen bedeutend geringer. Sie betragen z.B. im Querprofil Lotzwil lediglich ca. 70 l/s.

- Die Wasserführung der Langete wird durch Langete-Infiltration und Wiesenwässerung zugunsten des Grundwasserzuflusses vermindert. Während der Wässerungsperioden muss daher eine ökologisch und wasserwirtschaftlich vertretbare Restwassermenge beachtet werden.

- Die hydrogeologischen Voraussetzungen sind nicht gegeben, um das Wässerungswasser in den Wässerungsgebieten für die Trink- und Brauchwasserversorgung nutzen zu können. Die Grundwasserverhältnisse werden jeweils nur kurzfristig während den Wässerungen verbessert. Unmittelbar nach Wässerungsende herrschen wiederum praktisch die gleichen Grundwasserverhältnisse wie vor Wässerungsbeginn. Diese Gegebenheit geht deutlich aus den Grundwasserspiegel-Aufzeichnungen in den Wässerungsgebieten hervor (vgl. Abschnitt 4.1.5). Nach

Wässerungsende fallen die Grundwasserspiegel jeweils schnell ab. Die Speichermöglichkeiten in den Wässerungsgebieten sind bescheiden.

- Die dem Grundwasserleiter entzogenen Trink- und Brauchwassermengen vermindern den Grundwasserfluss und verkleinern die Exfiltrationsmengen. Aus ökologischen aber auch rechtlichen Gründen dürfte es nicht verantwortbar sein, bestehende Quellbäche trocken zu legen oder ihre Wasserführung deutlich zu schmälern.

Das Aufheben der heutigen Wiesenwässerungen und der Langete-Hochwasserversickerung würde das nutzbare Grundwasservorkommen im Hardwald nur unbedeutend verkleinern. Der Grundwasserfluss würde um durchschnittlich ca. 30 l/s abnehmen und die Grundwassermächtigkeit im Hardwald, die heute zwischen ca. 8 und 11 m variiert, im Mittel um ungefähr 0.2 m geringer. Am ehesten dürfte die Verminderung der Exfiltrationsmengen in der Brunnmatt von im Mittel ca. 400 l/s auf etwa 350 l/s auffallen: Der Brunnbach, der schon heute häufig streckenweise austrocknet, würde vermehrt trocken gelegt und die Wasserführung der übrigen Quellbäche vermindert.

Gesteigerte Wiesenwässerungen zwischen Kleindietwil und Langenthal können die Grundwasserverhältnisse unterhalb Langenthal nicht verbessern. Die Wiesenwässerungen im Wässerungsgebiet Kaltenherberg/Roggwil vergrössern vor allem die Exfiltrationsmengen während der Wässerungszeit, nicht aber die Grundwasserstände und damit die Grundwasserergiebigkeit im Hardwald.

Eine Verminderung der Langete-Infiltration, allenfalls bedingt durch die vorgesehene Hochwasserentlastung, reduziert die Grundwassermächtigkeit im Hardwald und die Exfiltrationsmengen. Ob und in welchem Ausmass die Infiltrationsleistung infolge der Entlastung zurückgeht, kann jedoch heute nicht abschliessend beurteilt werden.

Folgende Möglichkeiten bieten sich an, um die Grundwassermächtigkeit im Hardwald und die Exfiltrationsmengen in der Brunnmatt zu steigern:

1. Intensive Wiesenwässerungen im Wässerungsgebiet Langenthal/Kaltenherberg
2. Künstliche Grundwasseranreicherung im Raum Hardwald.

Die Strömungsbilder im Raum Hardwald für die zwei erwähnten Grundwasseranreicherungen sind in [26] dargestellt worden. Sie lassen, verbunden mit Ueberlegungen zu Mischprozessen der verschiedenen Wasser, auf folgendes schliessen:

- Bei einer intensiven Wiesenwässerung kann das versickerte Wasser nicht in das Fassungsgebiet im Hardwald gelangen Die Grundwasserstände werden dort durch Rückstau angehoben. Gütemässig bedeutet das: Die Qualität des Grundwassers kann im Fassungsgebiet nicht bedeutend beeinflusst werden.

- Bei einer permanenten künstlichen Grundwasseranreicherung von 100 l/s, in 2 Vertikalfilterbrunnen versickert, strömt das Wasser den Fassungsanlagen zu. Die Randbedingungen, nur zwei Versickerungsbrunnen und relativ kleine eingeleitete Wassermenge, erlauben nicht, eine im Hinblick auf die Verschmutzung des Grundwassers mit leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen, Atrazin und Nitrat erwünschte grossflächige Verdünnung zu erzielen.

Tab. 8.2: Mittlere Veränderungen gegenüber Modellsimulation 1 der Grundwasserzuflüsse, der Grundwassermächtigkeit im Hardwald und der Exfiltrationsmengen für die Modellsimulationen 2 bis 8

	Vergleich der Resultate von Modellsimulation 1 mit denjenigen von 2 bis 8					
	Grundwasserzufluss [l/s]	Grundwassermächtigkeit im Hardwald [m]	Exfiltrationsmengen [l/s] Langete, Abschnitt 1 und 2*	Brunnmatt	Langete, Abschnitt 3	Mange
Modellsimulation 1	1010	8.5	130	355	120	150
2 Wässerungsgebiet Madiswil/Lotzwil	+ 55	-	+ 50	+ 5	-	-
3 Wässerungsgebiet Lotzwil/Langenthal	+ 80	+ 0.05	+ 55*	+ 25	-	-
4 Wässerungsgebiet Langenthal/Kaltenherberg	+100	+ 0.5	-	+ 95	+ 5	-
5 Wässerungsgebiet Kaltenherberg/Roggwil	+140	-	-	+ 90	+ 40	+ 10
6 Verminderung der Langete-Infiltration	- 90	- 0.4	-	- 65	- 20	- 5
7 Steigerung der Grundwasserentnahme im Hardwald	- 75	- 0.6	-	- 65	- 10	-
8 Künstliche Grundwasseranreicherung Hardwald	+100	+ 0.8	-	+ 80	+ 20	-

8.2 Nutzungskonzept

8.2.1 Raum Bützberg-Langenthal (Hardwald)-Kaltenherberg

Es handelt sich um den wichtigsten, ergiebigsten Teil des Grundwasserleiters. Die Mächtigkeit der Unterwasserspiegelzone (vgl. Figur 2.2; Beilage III) erlaubt, leistungsfähige Fassungen zu betreiben. Da die Ueberwasserspiegelzone (Flurabstand) im allgemeinen gut durchlässig und im Bereiche Hardwald-Tannwäldli 10 bis 15 m mächtig ist, kann das Grundwasser auch wirksam durch Oberflächenwasser künstlich angereichert werden. Eine künftig gesteigerte Trink- und Brauchwassernutzung wird sich auf dieses Gebiet konzentrieren müssen (vgl. Abschnitte 8.2.2 und 3). Gestützt auf unsere Bewirtschaftungsszenarien (vgl. Abschnitt 8.1) hat der Gemeindeverband Wasserversorgung an der unteren

Langeten (WUL) bereits ein neues Fassungskonzept Hardwald erarbeiten [16] und Vorstudien für eine Grundwasseranreicherung in den Wässermattengebieten Wüestimatte/Grossmatte ausführen lassen [15]. Die öffentlich rechtlichen Verfahren für eine Erhöhung der Konzessionsmenge im Unterhardwald um 165 l/s (gegenüber Tabelle 6.3) und die Entnahme von 150 l/s aus der Langete für die Grundwasseranreicherung laufen. Die Grundwasserentnahme im Hardwald kann damit auch bei tiefen Grundwasserständen verdoppelt, auf mindestens 150 l/s gesteigert werden.

Der mengenmässige Schutz des Grundwassers dieses wichtigen Fassungsraumes erfordert:

Langete-Hochwasserentlastung - In der Gewässerschutzbewilligung von 1986 wird unter anderem festgehalten: Bei Abflüssen ≤ 70 m^3/s müssen mindestens 12 ± 1 m^3/s im Langetegerinne abfliessen, bevor die Entlastung durch den Stollen wirksam wird (vgl. Abschnitte 1.1, 8.1.1). An dieser Bedingung ist festzuhalten, um einer Kolmation soweit als möglich entgegenzuwirken. Wie Untersuchungen der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) der ETH-Z [50] zeigen, muss trotzdem befürchtet werden, dass auf grossen Strecken des Gerinneabschnittes Madiswil-Langenthal sich die Sohle mit der Zeit zunehmend verdichtet und weniger durchlässig wird. Die Abnahme der Durchlässigkeit kann sich in der Grössenordnung von 50 - 95 % bewegen. Die Infiltrationsleistung wird gegenüber heute zurückgehen (vgl. Figuren 6.10a und 11; Abschnitt 8.1.5). Hochwasserschutzverband, WUL und WEA haben sich deshalb auf ein die Trendentwicklungen festhaltendes Menge- und Güteüberwachungsprogramm für das Grundwasser geeinigt [43], das von 1987 bis 1997 laufen soll. Sollte ein Rückgang der Infiltrationsleistung festgestellt werden, wären Massnahmen, wie sie die VAW vorschlägt (z.B. periodische Spülungen, mechanisches oder pneumatisches Auflockern der Gerinnesohle), oder eine weitergehende künstliche Grundwasseranreicherung im westlichen Hardwald (vgl. Abschnitt 8.1.7; grössere, von der Aare heraufzupumpende Wassermengen könnten hier versickert werden) zu prüfen.

Versiegelung der Bodenoberfläche durch Ueberbauung - Es ist künftig darauf zu achten, dass alle nur geringfügig verschmutzten Abwasser (z.B. von Dachflächen, gewissen Plätzen) versickert werden. Dies schreibt das überarbeitete, wegen des Referendums noch nicht rechtsgültige Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vor Verunreinigung vor. Richtlinien werden sowohl vom Kanton wie auch vom Bund vorbereitet.

Wässerungen - In den Wässermatten zwischen Lotzwil und Langenthal können sie die Grundwasserverhältnisse im Hardwald nicht spürbar verbessern (vgl. Abschnitt 8.1.4).

8.2.2 Raum Kaltenherberg-Roggwil

Ziel der hydrogeologischen Untersuchungen in der Roggwiler-Terrasse war abzuklären, wie das unterhalb Roggwil in den Fassungsgebieten Mange und Kiltberg genutzte und das überfliessende Grundwasser gefasst werden könnten, ohne durch die zahlreichen Gefahrenherde eines Siedlungsgebietes bedroht zu sein (nutzbares Dargebot ungefähr 100 l/s, durchschnittliche Nutzung 1984-86 ungefähr 60 l/s; vgl. Abschnitt 6.3.4, Tabelle 6.3).

Leider haben die (im für Fassungen in Frage kommenden Gebiet südwestlich Roggwil) abgeteuften Bohrungen gezeigt (vgl. Beilagen II und III), dass die Mächtigkeit der Unterwasserspiegelzonen nur zwischen 2 m und 4 m schwankt. Wegen dieser kleinen Mächtigkeit kann die nutzbare Wassermenge nur beschränkt gefasst werden, mehrere kostspielige Fassungsanlagen wären nötig.

Der mengenmässige Schutz dieses Grundwassers erfordert im Hinblick auf die Langete-Hochwasserentlastung ebenfalls das Festhalten an der beim Einlauf in den Entlastungsstollen geforderten Dotierwassermenge von 12 $\pm$ 1 m^3/s im Langetegerinne sowie das Verkleinern des Einflusses von Oberflächenversiegelungen (vgl. Abschnitt 8.2.1). Wie das berechnete Bewirtschaftungsszenarium "intensive Wiesenwässerung Kaltenherberg-Roggwil" (Gruenholz; vgl. Abschnitt 8.1.4) und die Feldaufnahmen während Wiesenwässerungen (vgl. Abschnitt 4.1.5) gezeigt haben, kann die Ergiebigkeit des Gebietes nicht durch intensives Wässern nahmhaft gesteigert werden: Die Speichermöglichkeiten im Grundwasserleiter sind klein, der grösste Teil des Wässerwassers tritt, ohne genutzt werden zu können, im westlich unmittelbar angrenzenden Exfiltrationsgebiet Brunnmatt aus.

8.2.3 Raum Kleindietwil-Lotzwil

Die nutzbare Grundwassermenge beträgt hier nur 60 l/s. In den Grundwasserfassungen Lotzwil (Gemeindeversorgung Lotzwil; LOF01+02; 626.226/1+2) und den Quellfassungen Madiswil (WUL; MALQ1+Q2; 626.223/3) sind 1984 bis 1986 jährlich im Mittel ungefähr 30 l/s dieses Dargebotes genutzt worden (vgl. Tabelle 6.3). Eine intensivere Ausnutzung würde wegen der geringen Mächtigkeit der Unterwasserspiegelzone aufwendige Fassungsanlagen erfordern.

Um mengenmässig dieses Dargebot zu erhalten, gelten für die Faktoren Hochwasserentlastung (nur im nördlichen Teil des Raumes unterhalb Einlauf Entlastungsstollen km 626 418/224 744) und Versiegelung die im Abschnitt 8.2.1 erwähnten Forderungen.

Eine lokale Bedeutung kommt dem Wässerungsgebiet westlich der Langete zwischen Madiswil und Lotzwil zu. Hier können die Grundwasserverhältnisse im Bereich der Fassungsanlagen der WV Lotzwil mit Wässern vor allem in niederschlagsarmen Perioden verbessert werden. Das Dargebot des Grundwasserleiter-Abschnittes kann aber wegen der hydrogeologischen Randbedingungen nicht wesentlich erhöht werden.

8.3 Schutzkonzept

8.3.1 Heutiges Schutzzonen-Konzept

Für alle Grundwasser- und Quellfassungen der öffentlichen Versorgung ausser für das Pumpwerk Winkelacker (THWF1, 623.229/1; WUL; vgl. Tabellen 3.10 und 4.6) sind Schutzzzonen (Fassungsbereiche, engere und weitere Schutzzone) rechtsgültig ausgeschieden, wie dies Art. 30 des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer vor Verunreingung von 1971 vorschreibt. Sie entsprechen dem schweizerischen Schutzzonen-Konzept von 1977. Die zahlreichen, in den letzten Jahren entdeckten, weitreichenden Grundwasserverschmutzungen mit z.B. Nitraten, Pestiziden, chlorierten Kohlenwasserstoffen zeigen: Das heutige Schutzzonen-

Konzept genügt nicht, um unser Trinkwasser ausreichend zu schützen. Der Kanton und die Gemeinden müssen ihre Bemühungen verstärken, wenn sie langfristig gesehen ihr kostbares Gut sicherstellen wollen.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft überarbeitet gegenwärtig das Schutzzonenkonzept, das in einer neuen Gewässerschutzverordnung verankert werden soll (tritt wahrscheinlich 1992 inkraft).

Es versteht sich, dass ein weitergehender Schutz gegen chemische Verunreinigungen im ganzen Zuflussbereich zu den Fassungen im hydrogeologisch abzugrenzenden Einzugsgebiet nötig sein wird. Sobald sich der zu beschreitende Weg klarer abzeichnet, wird das WEA mit den Gemeinden und Wasserversorgungen der Region ein verwaltungsanweisendes Nutzungs- und Schutzkonzept entwerfen, das der Regierung zur Genehmigung unterbreitet werden kann.

8.3.2 Ursachenbekämpfung Nitrat, Atrazin/Simazin

Der Langete-Grundwasserleiter mit seinem Einzugsgebiet ist im Raum Kleindietwil-Thunstetten-Bützberg-Aarwangen-Roggwil seit 1988/1990 in das kantonale Nitrat-Ursachenbekämpfungsprogramm integriert (vgl. Abschnitt 7.2.2). Modellbetrachtungen zeigen mit welchem ungefähren Eintrag ins Grundwasser unter Siedlungs-, Wald- und landwirtschaftlich genutzten Gebieten zu rechnen ist, welche Nitratfracht durch die Entnahmen und in den Exfiltrationen weggeführt wird und wie langsam das System reagiert, da die mittlere Verweildauer des Wassers im Untergrund teilweise Jahre beträgt. Wenn es mit der Betreuung der landwirtschaftlichen Fachberater/innen gelingt, die Landwirte zu motivieren, wird das Projekt zweifellos erfolgreich sein. Mit einem raschen Sinken der Nitratgehalte des Grundwassers kann aber nicht gerechnet werden, da die vollständige Erneuerung des Grundwassers 2 bis 3 Jahre dauert.

Die in den letzten Jahren vom Bund verfügten Einschränkungen beim Anwenden der Wirkstoffe Atrazin und Simazin von Pflanzenbehandlungsmitteln (vgl. Abschnitt 6.4.3) werden dazu führen, dass im Grundwasser der Tolerenzwert für Trinkwasser wieder unterschritten wird. Auch bei diesen Stoffen darf nicht mit einem sich rasch einstellenden Erfolg gerechnet werden.

8.3.3 Altlasten

Neben den entdeckten Altlasten, Verschmutzungen mit leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen [12, 13, 14], kennt man über dem Grundwasserleiter und in seinem Einzugsgebiet eine Reihe weiterer möglicher Gefahrenherde wie ehemalige Kehrichtdeponien und Industriestandorte (vgl. Abschnitt 6.4.3). Im Rahmen des Auftrages, Altlasten zu erfassen, hat das kantonale Gewässerschutzamt im Einverständnis mit den Gemeindebehörden beschlossen, für ein Pilotprojekt das Gemeindegebiet Langenthal auszuwählen. Im Hinblick auf die Bedeutung des Raumes für die heutige und künftige Trink- und Brauchwasserversorgung (vgl. Abschnitt 8.2.1) sind diese Abklärungen zügig voranzutreiben, das restliche Gebiet sobald als möglich ebenfalls zu untersuchen.

8.3.4 Raum Bützberg-Langenthal (Hardwald)-Kaltenherberg

Leider gibt es in diesem wichtigsten Fassungsgebiet der Region zahlreiche mögliche Gefahrenherde wie Industrie- und Gewerbestandorte, Bahnen, Strassen und Altlasten (vgl. Abschnitt 8.3.3), weitere sind geplant, wie z.B. die Bahn 2000 durch das Fassungsgebiet Hardwald. Es wird nötig sein, mit dem erwähnten Nutzungs- und Schutzkonzept (vgl. Abschnitt 8.3.1) auch eine Strategie zu entwickeln, wie die einzelnen Gefahrenherde möglichst gut, wirtschaftlich vertretbar gesichert und überwacht werden können, welche Schadstoff-Parameter im Grundwasser künftig periodisch überwacht werden müssen und wie im Katastrophenfall rasch und wirksam eingegriffen werden könnte.

8.3.5 Raum Kaltenherberg-Roggwil

Der grösste Teil des Siedlungsgebietes von Roggwil liegt über dem engeren Zuflussgebiet der Fassungen des WUL und der Gemeinde Murgenthal, die leider mit einem vertretbaren finanziellen Aufwand nicht verlegt werden können (vgl. Abschnitt 8.2.2). Auch hier ist eine Strategie zu entwickeln, wie die möglichen Gefahrenherde gesichert werden können, was im Katastrophenfall zu tun wäre. Die örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse des Grundwasserleiters erschweren oder verunmöglichen eine allfällig notwendige Sanierung z.B. bei einem Unfall mit Mineralöl. Die Versorgung würde dank dem Verbundsystem dadurch nicht in Frage gestellt, entsprechend dem momentanen Grundwasserdargebot und dem Stand des Ausbaus von Anreicherungs- und Gewinnungsanlagen müsste aber unter Umständen der Verbrauch eingeschränkt werden.

8.3.6 Raum Kleindietwil-Lotzwil

Die Zahl möglicher Gefahrenherde ist hier kleiner, Raum und damit auch Zeit für Massnahmen im Katastrophenfall sind für die meisten Fälle vorhanden. Grundsätzlich ist aber auch hier gleich vorzugehen wie in den Abschnitten 8.3.4 und 5 skizziert.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] BLAU, R.V., CSD AG & HAEFELI, CH. [1981]: Grundlagen für die siedlungswirtschaftliche Planung des Kantons Bern. Hydrogeologie Oberaargau. Teilgebiete Langenthal, Roggwiler-Terrasse, Mittleres Langetental, Oenztal, Bipperamt.- Bern (WEA).

[2] BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., TRÜEB, E., WERNER, A., WÜRSTEN, M.-[1984]: Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental, Handbuch, erarbeitet im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Wasserhaushalt.-GWA 64/5: 249-388.

[3] BLAU, R.V., HAEFELI, CH., & WANNER, J. [1991]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Oenztal. - Bern (WEA).

[4] BINGGELI, V. [1974]: Hydrologische Studien im zentralen Schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete. Beiträge zur Geologie der Schweiz.- Hydrologie Nr. 22.

[5] LEIBUNDGUT, CH. [1976]: Zum Wasserhaushalt des Oberaargaus und zur hydrologischen Bedeutung des landwirtschaftlichen Wiesenbewässerungssystems im Langetental. Beiträge zur Geologie der Schweiz.- Hydrologie Nr. 23.

[6] LEIBUNDGUT, CH. [1981]: in BAUER, F. et al [1981]: Tracerhydrologische Untersuchungen im Langetental (Schweiz).- Aus Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 33:5-123.

[7] WEA [Periodisch]: Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Bern.- Bern (WEA).

[8] PLANUNGSVERBAND REGION OBERAARGAU [1976]: Hochwasserschutz und Trinkwasserversorgung im unteren Langetental. Generelles Projekt. - nicht veröffentlicht.

[9] INGENIEURBÜRO SCHEIDEGGER AG [1979]: Generelles Projekt für die Wässerung des wasserwirtschaftlichen Kerngebietes unteres Langetental.- Ausgearbeitet im Auftrag der Einfachen Gesellschaft Wasserversorgung an der unteren Langeten. - nicht veröffentlicht.

[10] HOCHWASSER-SCHUTZVERBAND UNTERES LANGETENTAL [1985]: Bauprojekt für den Hochwasserschutz unteres Langetental.- nicht veröffentlicht.

[11] LIEBI, R. et al [1979]: Sicherung der Wässermatten aus rechtlicher und landwirtschaftlicher Sicht. Erarbeitet im Auftrag der Wasserversorgung an der Unteren Langeten.- nicht veröffentlicht.

[12] BLAU, R.V., WERNER, A., STÄMPFLI, M., WÜRSTEN, M. [1985]: Verschmutzung des Grundwasserleiters mit leichtflüchtigen Chlor-Kohlenwasserstoffen im Raum Bützberg-Langenthal. Zwischenbericht Nr. 1.- Bern (WEA; nicht veröffentlicht).

[13] BLAU, R.V., WERNER, A., STÄMPFLI, M., WÜRSTEN, M. [1986]: Verschmutzung des Grundwasserleiters mit leichtflüchtigen Chlor-Kohlenwasserstoffen im Raum Bützberg-Langenthal. Zwischenberichte Nr. 2a und 2b.- Bern (WEA; nicht veröffentlicht).

[14] BLAU, R.V., WERNER, A., LÜTHI, F. [1987]: Verschmutzung des Grundwasserleiters mit leichtflüchtigen Chlor-Kohlenwasserstoffen im Raum Bützberg-Langenthal. Zwischenbericht Nr. 3.- Bern (WEA; nicht veröffentlicht).

[15] INGENIEURBÜROS A. WERNER, BURGDORF UND RYSER AG, BERN [1989/90]: Wässerungskonzept Wüestimatte/Grossmatte, Projektgrundlagen und Vorstudie. - Langenthal (WUL; nicht veröffentlicht).

[16] INGENIEURBÜROS A. WERNER, BURGDORF UND RYSER AG, BERN [1990]: Fassungskonzept Hardwald, Projektgrundlagen und Vorstudie. - Langenthal (WUL; nicht veröffentlicht).

[17] SCHWEIZ. METEOROLOGISCHE ZENTRALANSTALT [monatlich]: Monatstabellen der meteorologischen Stationen der Schweiz.- Zürich (SMA).

[18] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT [jährlich]: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. - Bern (Landeshydrologie und -geologie). Seit 1978; 1917 - 1977 EIDG. VERKEHRS- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSDEPARTEMENT: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz. - Bern (Eidg. Wasserwirtschaft).

[19] BINGGELI, V., LEIBUNDGUT, CH. [1984]: Kulturlandschaftswandel und Grundwasserprobleme in einem Bewässerungsgebiet des Mittellandes. - Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern N.F. 41.

[20] LEIBUNDGUT, CH., KLINKENBERGH, CH. [1986]: Erhaltung und Wiederherstellung der Wässermatten-Kulturlandschaft im Langetental. Erarbeitet im Auftrag des Planungsverbandes Region Oberaargau.- Geogr. Inst. Uni. Bern; nicht veröffentlicht.

[21] LEIBUNDGUT, CH. et al [1988]: Vorschlag für die Ausscheidung der als Kulturlandschaftsdenkmal zu schützenden Wässermatten und der sie umgebenden Pufferzonen.- Geogr. Inst. Uni Bern; nicht veröffentlicht.

[22] RUFENER, TH. [1978]: Eine bodenkundliche Kartierung und Beurteilung der althergebrachten Wässerungswirtschaft sowie der standortgemässen Nutzungsmöglichkeiten. Ausgeführt als Diplomarbeit im Institut für Agrikulturchemie ETH.- nicht veröffentlicht.

[23] SCHWEIZERISCHE VEREINIGUNG INDUSTRIE + LANDWIRTSCHAFT (SVIL) [1988]: Wässermatten im Unteren Langetental. Schutzmassnahmen. Erarbeitet im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Wässermatten und des Raumplanungsamtes des Kantons Bern.- nicht veröffentlicht.

[24] BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., WERNER, A., WÜRSTEN, M. [1985]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrogeologie Langenthal. Zwischenbericht 1984.- Bern (WEA).

[25] BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., WERNER, A., WÜRSTEN, M. [1986]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrogeologie Langenthal. Zwischenbericht 1985.- Bern (WEA).

[26] BLAU, R.V., WERNER, A., WÜRSTEN, M. [1987]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrogeologie Langenthal. Zwischenbericht 1986.- Bern (WEA).

[27] HUFSCHMIED, P. [1983]: Die Ermittlung der Durchlässigkeit von Lockergesteins-Grundwasserleitern, eine vergleichende Untersuchung verschiedener Feldmethoden.- Diss. ETH-Zürich Nr. 7397; in [37] veröffentlicht.

[28] MÜLLER, I. [1983]: Field Measurements in Geomechanics. Anisotropic Properties of Rocks detected with Electromagnetic VLF Measurements. International Symposium on Field-Measurements in Geomechanics, Zurich, Sept. 5-8.

[29] DIGIPLAN AG [1987]: Digital Elevation Model Package. - nicht veröffentlicht.

[30] HUFSCHMIED, P. [1987]: Ermittlung Makroskopischer Transportparameter am Beispiel des Grundwasserleiters im Hydrothermischen Testareal Aefligen. Erarbeitet im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Wasserhaushalt. - Bern (WEA), nicht veröffentlicht (vgl. [33]).

[31] HUFSCHMIED, P. [1986]: Estimation of three Dimensional Statistically Anisotropic Hydraulic Conductivity Field by Means of Single Well Pumping Tests combined with Flowmeter Measurements. - Hydrogéologie 2, BRGM Orléans (F).

[32] WEA [1989]: Wärmeentzug aus öffentlichen Gewässern, Wärmebilanz Grundwasser Hasle-Burgdorf; Kurzbericht. - Bern (WEA).

[33] BLAU, R.V., WERNER, A., WÜRSTEN, M.; KOBUS, H., SÖLL, T.; ZOBRIST, J.; HUFSCHMIED, P.; [1987]: Nationales Forschungsprogramm Wasserhaushalt, Natürlicher und künstlicher Wärmeeintrag - Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt im Testareal Kirchberg, Schlussbericht. - Bern (WEA); nicht veröffentlicht. Leicht gekürzte Fassung von [30], [33] in: Gas-Wasser-Abwasser 3, 1991, 30.

[34] SEVRUK, B. [1981]: Methodische Untersuchungen des systematischen Messfehlers der Hellmann-Regenmesser im Sommerhalbjahr in der Schweiz. - Mitt. VAW 52, ETH-Zürich.

[36] AELLEN, M. et al [1985]: Der Niederschlag in der Schweiz. Bericht der Arbeitsgruppe "Niederschlag" der Hydr. Kommission der Schw. Nat. Ges. (SNG). Beiträge zur Geologie der Schweiz- Hydrologie Nr. 31.

[37] BLAU, R.V., TRÜEB, E., FISCH, W., WERNER, A. & HUFSCHMIED, P. [1983]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Emmental, Teil IV, Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes im Testgebiet Emmental. - Bern (WEA).

[38] PENMAN H.L. [1948]: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. - Proc. Roy. Soc. London Ser. A,193.

[39] DRACOS, TH. [1980]: Hydrologie: eine Einführung für Ingenieure. - Heidelberg (Springer).

[40] SACHS, L. [1978]: Angewandte Statistik.- Heidelberg (Springer).

[41] LANDESHYDROLOGIE [1982]: Handbuch über die Abflussmengenmessungen. - Bern (Landeshydrologie).

[42] JENS, G. [1968]: Tauchstäbe zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit und des Abflusses. - Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. 12/4: 90-95.

[43] WERNER, A., BIEDERMANN, P. [1989/90]: Qualitative und quantitative Überwachung des Grundwasservorkommens im Langetental. Zwischenbericht Nr. 2 und 3. - Bern (WEA).- nicht veröffentlicht.

[44] HOERLER, A. [1966]: Kanalisation. - In Ingenieur Handbuch II. - Zürich (Schweizer Verlagshaus).

[45] KOVACS, G. [1973]: Hydrological investigations of the unsaturated zone. - Budapest.

[46] MUCHENBERGER, F. [1979]: Abflussmessungen in Oberflächengewässern für Grundwasserbilanzierungen.- GWA 59/9, 401-407.

[47] TRÖSCH, J. [1975]: Numerische Simulation Dupuit'scher Grundwasserströmungen.- Mitt. VAW 14 und 15, ETH Zürich.

[48] EIDG. LEBENSMITTELBUCH-KOMMISSION [1985]: Schweizerisches Lebensmittelbuch, Kapitel 27a: Trinkwasser. - Bern (EDMZ).

[49] EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN [1986]: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln. - Bern (EDMZ).

[50] VERSUCHSANSTALT FUER WASSERBAU, HYDROLOGIE UND GLAZIOLOGIE ETH-Z [1990]: Die Langetensohle, Bericht über die Auswirkungen der Hochwasserableitung auf die Langetensohle zwischen dem Entlastungsbauwerk und Langenthal. - Ausgearbeitet im Auftrag des Hochwasserschutzverbandes unteres Langetental. - nicht veröffentlicht.

[51] KERNDORFF, H. et al [1985]: Erfassung grundwassergefährdender Altablagerungen. - WABOLU Hefte 5.

Beilage 1

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Mittleres und Unteres Langetetal 1: 25 000

Hydrographie

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Bearbeitung: Ingenieur- und Studienbüro
A. Werner AG, Burgdorf

Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters vom 14. 10. 1986
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer einer Messstelle innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei WEA/Geologie
- 628/232 km² des Landeskoordinatensystems
- C Messstelle für physikalisch chemische Untersuchungen
- Hydrogeologisches Einzugsgebiet (im Altachstal aus modelltechnischen Gründen nach Westen ausgedehnt)
- 0.0 Langetekilometrierung, beginnend mit km 0.0 bei Wystägen
- Wässermatte, untersucht

Klima-Messstellen

- Klimastation, Schweiz. Meteorologische Anstalt Zürich (SMA)
- Niederschlags-Messstelle (Pluviograph) SMA
- Niederschlags-Messstelle (Pluviograph) WEA

Oberflächenwasser-Messstellen

- Abfluss-Messstation, Landeshydrologie und -geologie Bern (LHG)
- Abfluss-Messstation (Limnigraph) (WEA)
- Wasserstands-Abstichpunkt mit period. Messungen
- Q Einzelne Abflussmessung

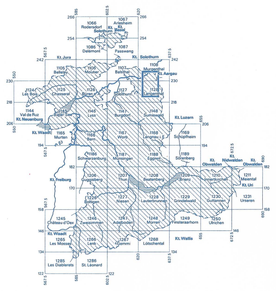
Grundwasser-Messstellen

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schacht- oder Sodbrunnen
- Peilrohr
- Bohrung
- Grundwasser-Messstation (Limnigraph)

Hydrographisches Längenprofil

L ~ 1 : 25 000 H ~ 1 : 250 100 fach überhöht

- Langetespiegel vom 14. 10. 1986
- Langetesohle
- Wehr
- Grundwasserspiegel vom 14. 10. 1986



Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text

Planungsmitarbeit, Kartographie:
WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens

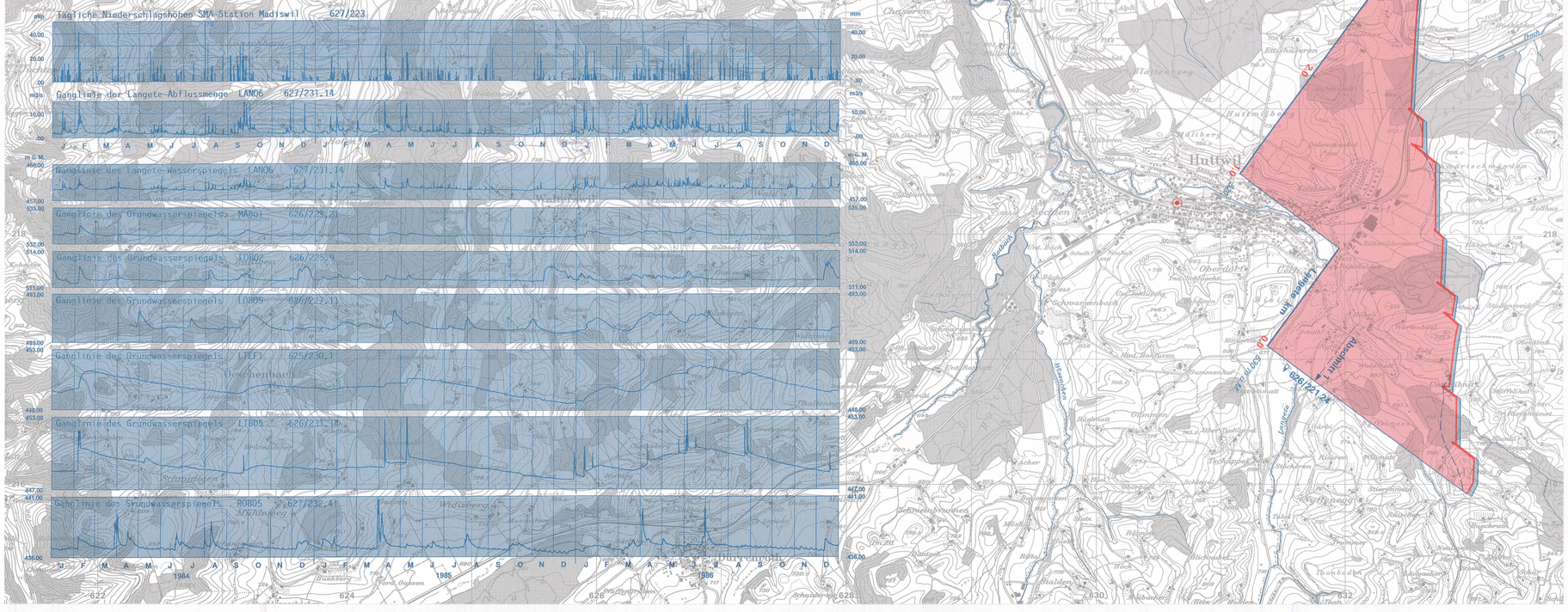
Satz und Belichtung: Diaset AG, Bern

Reprographie: P. Gaffuri, Bern

Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Liebefeld/Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1.8.1989

Ausgabe 1991



Beilage 2

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Mittleres und Unteres Langetetal 1: 25 000

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 14. 10. 1986 und des Grundwasserstauers

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Bearbeitung: Ingenieur- und Studienbüro A. Werner AG, Burgdorf

Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters vom 14. 10. 1986
- 7 — Fortlaufende Ordnungsnummer einer Messstelle innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei WEA/Geologie
- Lokales Auftreten verschiedener Grundwasserstockwerke

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 14.10.1986 der ungefähr einem mittleren Grundwasserstand der Beobachtungsperiode 1984 bis 1986 entspricht

- —512— 2 m Grundwasserspiegel-Isohypse mit Kote in m ü. M.[1]
- Grundwasser-Fliessrichtung

Grundwasser-Messstellen [2]

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Messstation (Limnigraph)
- 471.31 — Grundwasserspiegelhöhe vom 14. 10. 1986 in m ü. M.

Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers

- —445— 5 m Grundwasserstauer-Isohypse mit Kote in m ü. M.[1]

Sondierungen

- Bohrung
- 486.71 — Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.

Infiltrationsverhältnisse am 14. 10. 1986

- Nachgewiesene Infiltrationsstrecke, Speisung des Grundwassers durch Oberflächengewässer

Exfiltrationsverhältnisse am 14. 10. 1986

- Nachgewiesene Exfiltrationsstrecke, Austritt des Grundwassers ins Oberflächengewässer
- Exfiltrationsgebiet (Grundwasseraustritte)

[1] Bei den Isohypsendarstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Messstellen erlaubt dem Benützer, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.

[2] Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Messstellen wiedergegeben werden.

Kartenausschnitt 1: 10 000 vgl. Text Figur 61

Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text

Planungsmitarbeit, Kartographie: WEA/P. Eichwald, Mitarbeit D. Hofstetter, Rossens

Satz und Belichtung: Dieset AG, Bern

Reprographie: P. Gaffuri, Bern

Druck: Aeni-Leuch AG, Liebefeld/Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1.8.1989

Ausgabe 1991

Beilage 3

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Mittleres und Unteres Langetetal 1: 25 000

Mächtigkeit der Grundwasserleiter

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Bearbeitung: Ingenieur- und Studienbüro
A. Werner AG, Burgdorf

Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters vom 14. 10 1986
- Bereich eines geologischen Profiles
- ? Angabe fraglich oder unbekannt

Stufen gleicher Mächtigkeit der Grundwasserleiter
abgeleitet aus der Differenz: Grundwasserspiegel vom 14. 10. 1986 – Oberfläche des Grundwasserstauers; vgl. Beilage 2

0 – 5 m	5 – 10 m	über 10 m

Linien gleicher Mächtigkeit der Flurabstände
abgeleitet aus der Differenz: Terrainoberfläche – Grundwasserspiegel vom 14. 10. 1986; vgl. Beilage 2

- 5 m Isolinie des Flurabstandes mit Kote in m ü. M.

Geologische Profile
L ~ 1 : 25 000 H ~1 : 1000 25 fach überhöht

- 626/226.2 Fortlaufende Ordnungsnummer einer Bohrung innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei WEA/Geologie und Beilage 2
- Bohrung, im oder bis 50 m neben dem Profilbereich liegend
- Bohrung, bis 200 m neben dem Profilbereich liegend, Projektion den Lagerungsverhältnissen im Profil angepasst
- Grundwasserspiegel vom 14. 10. 1986
- Wassergesättigter Teil des Grundwasserleiters am 14. 10. 1986

Lithologie

- Ton, Silt
- Kies
- Sand
- Steine, Blöcke
- Lithologische Grenze
- Stauoberfläche (Molasse)

Chronostratigraphische Zuordnung

(gemäss Geologischem Atlas der Schweiz 1 : 25 000, Blatt 1128 Langenthal)

Holozän	*Gehängeschutt, Blockschutt*		gs
	Gehängelehm		l
	Tal-Alluvionen, Bachschuttkegel		a
Pleistozän	*Würm*	*Würmschotter im allgemeinen*	q4s
		Stillwasserablagerungen und ? Moränenrelikte	q4t
		Moränen	q4m
	Riss	*Interglaziale Löss- u. Seeablagerungen*	q3-4l
		Moränen; untergeordnet Schotter	q3m(s)
Oligozän-Miozän	*Chattien-Aquitanien*	*Vorwiegend Sandsteine und Mergel*	m1

Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text

Planungsmitarbeit, Kartographie: WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens

Satz und Belichtung: Diesel AG, Bern

Reprographie: P. Gaffuri, Bern

Druck, Einband: Aemi-Leuch AG, Liebefeld/Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1.8.1989

Ausgabe 1991